

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO DE SAL PARA LA
EMPRESA INDUSALCA LTDA., MANAURE – LA GUAJIRA, CON
FINES DE AUTOMATIZACIÓN**

**ÁNGEL MANUEL MEJÍA NEIRA
ANDRÉS EMIRO PALACIO VALENCIA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero
Electrónico**

**Director y asesor del proyecto
Esp. Rubén Darío Sánchez Dams
Ingeniero Electrónico**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA – CUC
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BARRANQUILLA
2011**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla 7 de Junio de 2011

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, que me dio la fortaleza y me llenó de paciencia y voluntad para afrontar nuevos retos; a mis padres y hermana, que día tras día me alegraron y me apoyaron en las etapas más difíciles, llenándome de cariño, comprensión y sobre todo de su inmenso apoyo, sin ellos esto no hubiese sido posible; a mi tío, Leor Mejía Guzmán, que con sus innumerables consejos, enseñanzas, amistad y confianza brindadas, se convirtió en mi ejemplo a seguir desde niño; a Jine, Caro y Silvio, compañeros, colegas y sobre todo excelentes amigos, que me brindaron de una manera muy humilde, sencilla y desinteresada, su amistad y la de sus más allegados, alegrándose por mis logros cumplidos y apoyándome en los momentos más complicados.

A estas personas dirijo mi trabajo y esfuerzo, porque con sus aportes hicieron de mí un mejor ser.

Ángel Mejía Neira

Me gustaría dedicar este, el fruto de un arduo trabajo inicialmente a Dios que la fuente de mis fuerzas y paciencia; a toda mi familia.

Para mis padres Mercedes Valencia Beltrán y Emiro Palacio Hoyos, por su comprensión y ayuda en los momentos fáciles y difíciles de mi vida. Me han enseñado a superar las adversidades sin desfallecer y sin andar quejándome. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño y todo ello con mucho amor y sin esperar remuneración alguna.

Para mis tías, quienes han estado conmigo en momentos difíciles. Y por medio de este logro, les demuestro que todo sacrificio tiene su recompensa. Nunca le podré estar suficientemente agradecido.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Andrés Palacio Valencia

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios, por permitirme estar en este momento cúspide en mi vida; a May, por su paciencia, apoyo, comprensión, cariño y por esa linda oportunidad que me brindó y aunque muchas veces no entiende nada de lo que digo, siempre está presta a tenderme su mano cuando más la necesito.

A mis colegas y amigos del 'Niupi', por los buenos momentos, por sus conocimientos, por su constante apoyo y por ese lazo de hermandad y compañerismo que nos une.

Al Ingeniero Edwin Roca Guerrero, Zhoe, Mendi, Hernán y Elkin, más que compañeros, amigos. Sin su ayuda durante los momentos decisivos, créanme que hubiera sido más difícil de lo que se veía, gracias.

Agradecer a todos mis compañeros que de una u otra forma siempre estuvieron ahí para brindarme una mano amiga, si colocara los nombres les aseguro que dos o tres hojas no serían suficientes para expresar lo agradecido que me encuentro con todos y cada uno de ustedes.

Al Ingeniero Rubén Sánchez Dams, por sus tan acertados consejos, por las enseñanzas transmitidas, su paciencia, por la confianza y amistad brindadas y sobre todo por enseñarme el valor de ser un profesional íntegro y responsable.

Y por último al Ingeniero Alfonso Ortíz Barrios, que con sus oportunos consejos e innumerables y acertadas recomendaciones, me guió y

enseñó al igual que muchos de mis compañeros la importancia de ser profesionales destacados y competitivos.

A todos ustedes, muchas gracias.

Ángel Mejía Neira

Mis más sinceros agradecimientos principalmente para Dios creador del universo y dueño de mi vida que permite construir en mi mente cosas que otros ven como imposibles.

A mis padres, Mercedes Valencia Beltrán y Emiro Palacio Hoyos por el apoyo incondicional, desinteresado y constante que me dieron durante este largo camino.

A mis tías que con sus enseñanzas, a veces un poco fuera de lugar pero siempre han estado ahí.

A Yulbenis Landinez Padilla que durante mucho tiempo fue mi fuente de inspiración para seguir adelante y no desfallecer en el camino. La que cuando me hallaba sin fuerzas, muy desinteresadamente me daba las suyas sin vacilar.

A la Corporación Universitaria de la Costa – CUC, que nos apoyó económicamente y asignándonos al Ingeniero Rubén Sánchez Dams y su grupo de colaboradores que muy amablemente nos guiaron y resolvieron las dudas presentadas durante el desarrollo de dicho proyecto.

A INDUSALCA Ltda., en cabeza del Sr. Álvaro Montes García quien nos colaboró facilitándonos el libre acceso a las instalaciones de dicha empresa.

Y el agradecimiento no podía faltar a todos mis amigos y compañeros que siguieron paso a paso la evolución de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Andrés Palacio Valencia

CONTENIDO¹

| | |
|--|----|
| LISTA DE TABLAS | 11 |
| LISTA DE FIGURAS | 12 |
| LISTA DE ANEXOS | 13 |
| GLOSARIO | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 20 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 22 |
| 3. OBJETIVOS | 27 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 27 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 4. DELIMITACIONES DEL TEMA | 28 |
| 4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL..... | 28 |
| 4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL | 28 |
| 5. MARCO REFERENCIAL | 29 |
| 5.1. MARCO DE ANTECEDENTES | 29 |
| 5.2. MARCO TEÓRICO..... | 30 |
| 5.2.1. Autómatas Programables..... | 32 |
| 5.2.2. Métodos de desarrollo para electrónica..... | 37 |
| 6. DISEÑO METODOLÓGICO | 44 |
| 6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN | 44 |
| 6.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN..... | 46 |
| 6.3. POBLACIÓN | 46 |
| 7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 47 |
| 7.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIA | 47 |
| 7.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS SECUNDARIAS | 48 |
| 7.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 48 |
| 7.3.1. Instrumentos de recolección de datos primarios | 48 |
| 7.3.2. Instrumentos de recolección de datos secundarios..... | 50 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 51 |
| 9. ANÁLISIS DE DATOS..... | 59 |
| 10. DISEÑO DE INGENIERÍA..... | 63 |
| 10.1. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE INGENIERÍA..... | 63 |
| 10.1.1. Modelado del negocio..... | 63 |
| 10.1.2. Modelado del dominio | 66 |
| 10.1.3. Requisitos | 74 |
| 10.2. FUNCIONALIDADES DEL AUTÓMATA | 81 |
| 10.2.1. Proceso Principal | 81 |
| 10.2.2. Procesos paralelos..... | 83 |
| 10.2.3. Pruebas | 83 |
| 10.2.4. Listado de las entradas y salidas | 84 |
| 11. CONCLUSIONES | 87 |
| ANEXO A. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA EDWIN PAVÓN | 90 |

¹ A partir de este ítem y durante el resto del cuerpo del trabajo de la presente monografía, se trabajó bajo la norma técnica colombiana NTC1486 (Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación), numeral 5.1.1, el cual dice que el documento puede ser impreso por ambas caras de la hoja, a partir de la página del contenido.

| | |
|--|-----|
| ANEXO B. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA NELSON ORTEGA..... | 96 |
| ANEXO C. CARGA DE LOS EQUIPOS | 104 |
| ANEXO D. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO | 106 |
| ANEXO E. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE SALIDA DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE | 107 |
| ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADAS DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE | 108 |
| ANEXO G. PROGRAMA PRINCIPAL PARA EL CONTROL DEL ARRANQUE LOS MOTORES | 109 |
| BIBLIOGRAFÍA | 111 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 10.1. Listado de entradas y salidas utilizadas en la programación del controlador | 85 |
| Tabla 11.1. Carga de los equipos | 104 |
| Tabla 11.2. Arranque Estrella-Triángulo (circuito de potencia) | 106 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 5.1. Ciclo de vida del desarrollo de software | 39 |
| Figura 6.1. Ruta modelo Programa Ingeniería Electrónica | 45 |
| Figura 8.1. Ejemplo de máquina tipo tornillo para lavar sal | 52 |
| Figura 8.2. Depósito de salmuera de la empresa INDUSALCA | 53 |
| Figura 8.3. Torre de lavado | 53 |
| Figura 8.4. Bombas de enjuague y mezclado..... | 54 |
| Figura 8.5. Tolva contenedora de sal sucia..... | 55 |
| Figura 8.6. Red de tamizado. | 55 |
| Figura 8.7. Aspersores o flautas de salmuera | 57 |
| Figura 8.8. Etapa de centrifugado | 57 |
| Figura 8.9. Tapete | 58 |
| Figura 8.10. Stacker | 58 |
| Figura 10.1. Diagrama de actividades de la secuencia de arranque | 65 |
| Figura 10.2. Diagrama de clases lavado de sal. | 73 |
| Figura 10.3. Accionamiento cerradura de seguridad O+I..... | 81 |
| Figura 11.1. Conexiones de salida autómata | 107 |
| Figura 11.2. Diagrama de conexiones de entrada del autómata | 108 |
| Figura 11.3. Programa principal del proceso de arranque de los motores | 109 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO A. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA EDWIN PAVÓN | 90 |
| ANEXO B. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA NELSON ORTEGA..... | 96 |
| ANEXO C. CARGA DE LOS EQUIPOS | 104 |
| ANEXO D. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO | 106 |
| ANEXO E. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE SALIDA DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE | 107 |
| ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADAS DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE | 108 |
| ANEXO G. PROGRAMA PRINCIPAL PARA EL CONTROL DEL ARRANQUE LOS MOTORES | 109 |

GLOSARIO

Aspersores: mecanismo que esparce líquido a presión, en este caso la salmuera que es traída desde los depósitos de salmuera mediante la bomba de enjuague, estos están ubicados en la torre de lavado.

Autómata programable: los autómatas programables o PLC (Controlador Lógico Programable), son todas aquellas máquinas electrónica, diseñadas para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

Bomba de enjuague aspersor: motor eléctrico el cual lleva la salmuera hacia los aspersores en la torre de lavado.

Bomba draga: motor ubicado en la parte inferior de la tolva de sal sucia, el cual impulsa la mezcla sal-salmuera a través de una tubería hacia la torre de lavado.

Centrifuga: máquina que integra la torre de lavado, en ella cae la sal para liberarla del exceso de salmuera.

Coterros: personal encargado de empacar la sal en sacos.

Depósito de salmuera: lugar donde se almacena la solución que se utilizará durante el proceso. También se conoce como piscina de salmuera.

Diagrama de actividades: un diagrama de actividades muestra una serie de actividades que deben ser realizadas en un uso-caso, así como las distintas rutas que pueden irse desencadenando en el uso-caso

Diagrama de clases: un diagrama de clases representa las clases que serán utilizadas dentro del sistema y las relaciones que existen entre ellas.

Lenguaje de contactos: véase lenguaje Ladder.

Lenguaje Ladder: “también denominado lenguaje de contactos o en escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje” [1].

Lenguajes de programación: lenguaje artificial que puede ser usado para controlar el comportamiento de una máquina, especialmente una computadora. Estos se componen de un conjunto de reglas sintácticas y semánticas que permiten expresar instrucciones que luego serán interpretadas.

Modelado del dominio: un modelo de dominio es un artefacto de la disciplina del análisis, construido con las reglas de UML durante la fase de concepción, Son usados para capturar y expresar el entendimiento ganado en un área bajo análisis como paso previo al diseño de un sistema.

Operario recogedora: persona encargada de llevar la sal hacia las distintas tolvas que integran el proceso de lavado de sal.

PLC: véase autómata programable.

Proceso ICONIX: es un proceso de desarrollo de software, el cual utiliza metodologías ágiles. Es un proceso simplificado, en el cual se unifican un conjunto de métodos orientados a objetos, con la finalidad de abarcar todo el ciclo de vida de un proyecto.

Recogedora: vehículo pesado con el cual se transporta la sal sucia del depósito hacia la tolva de sal sucia e igualmente es la encargada de llevar la sal limpia a la tolva de empacadores.

Red de tamizado: parte encargada de separar el producto útil de impurezas, cuerpos extraños y rocas de sal demasiado grandes.

RUP: el Proceso Unificado Racional (Rational Unified Process en inglés), es un proceso de desarrollo de software y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado UML, constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos.

Stacker (apilador): un apilador es una máquina usada en aplicaciones de manejo de carga de material. La función del apilador, es apilar materiales tales como piedras caliza, minerales, y cereales en una reserva.

Tapete: cinta transportadora ubicada en la parte inferior de la torre de lavado, debajo de la centrifuga, en donde cae la sal después de pasar por la etapa de secado.

Tolva de empacadores: caja en la cual se almacena la sal limpia luego de pasar por el proceso de lavado.

Tolva: caja en la cual es almacenada la sal sucia antes de iniciarse el proceso de lavado.

UML: "es un lenguaje gráfico para especificar, construir y documentar los artefactos que modelan un sistema" [2].

Usuario final: es la persona a la que va dirigida el producto, o en otras palabras, aquel que va a manipular e interactuar directamente con el sistema o producto una vez esté listo.

INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto, está encaminado al diseño de la automatización del proceso de lavado de la sal marina de la empresa INDUSALCA Ltda., ubicada en el municipio de Manaure, departamento de La Guajira.

Según Ignacio Tapia Tovar [3] a lo largo de la historia, el diseñar sistemas automatizados de control de procesos industriales ha sido una de las demandas que mayor crecimiento ha mostrado. Desde sus inicios, con la revolución industrial en el siglo XVIII, se mostraron muchas de las cosas que hoy día no dejan de sorprender debido a la complejidad de ciertos sistemas y la calidad tecnológica de aquel entonces. Estas mejoras mostradas en aquellas épocas, dejaron perplejas a las personas por el acelerado crecimiento de la producción y que de paso dejaron algo bien claro: en el mercado no siempre se puede sobrevivir con la misma tecnología durante mucho tiempo; por esta razón la innovación tecnológica tomó un lugar importante dentro de esta competencia entre empresas, ya que, quien estuviera a la vanguardia con las mejores implementaciones tecnológicas era quien se hacía más fuerte, económicamente hablando; hasta nuestros días, esta premisa aún se mantiene y con el pasar del tiempo se hace más fuerte.

La importancia de la automatización hoy en día, es que es una de las más importantes áreas de la electrónica y las que más demanda ofrece al momento de trasladarla al campo laboral; los beneficios que ofrece ésta, pueden ser muchos a la hora de facilitar procesos y detectar fallos, aumentando los niveles de producción y eficiencia de la planta o empresa en la que se esté trabajando. Entre los beneficios que se

pueden encontrar dentro de las empresas, se puede detallar uno de los más importantes y es que la planta o fábrica en la que se lleve a cabo un proceso de automatización, el aumento de la producción crece de manera considerable, ya que el controlador es el encargado de realizar todos los procesos y verificar cada una de las tareas que se le lleguen a asignar, arrojando resultados en tiempo real y cuidando que no se presenten anomalías a la hora de ejecutar cada una de estas labores y si esto se llegase a presentar, el sistema estará en la capacidad de activar paradas de emergencia, o activar alarmas, para que el operario las pueda corregir.

Con automatizar, no sólo se beneficia la producción y la competitividad de la planta, sino que el personal encargado de operar los distintos elementos dentro del proceso, estará menos expuesto a posibles lesiones, que se puedan llegar a presentar durante el desarrollo de actividades manuales. En cuanto a las empresas carentes de este tipo de tecnología, muchas veces se ven obligadas a forzar turnos en las empresas, para evitar que la producción disminuya y mantener la calidad del producto final.

El propósito del siguiente trabajo, no es sólo el de adelantar estudios para el diseño y posible implementación de la solución para la problemática tratada, sino que se darán a conocer las ventajas que el uso de este tipo de tecnología puede llegar a ofrecer a la empresa objeto del estudio; considerando que las mejoras pueden ir desde una mejor administración de los procesos ejecutados, hasta la reducción de los riesgos que se puedan llegar a presentar durante la ejecución del lavado de sal e incluso riesgos que coloquen en juego la integridad de los operadores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Guajira es una de las regiones de Colombia con una excepcional belleza, cuenta con grandes riquezas naturales, con una diversidad cultural en donde el indígena hace parte integral de la sociedad, lo que le da muchas oportunidades. Por otro lado es una de las regiones con el mayor rezago industrial del país, presentando además falencias en cuanto a la localización de empresas de servicios de ingeniería.

Según María Aguilera Díaz [4].

“Toda la costa guajira es una inmensa salina, salvo en las zonas de acantilados. La topografía de los terrenos planos sobre el nivel del mar y los aspectos atmosféricos favorables (sol, viento y lluvias escasas) facilitan la obtención de sal por evaporación. En Manaure, se encuentra la explotación de sal marina más grande de Colombia, ubicada entre el mar y una zona desértica al noreste de Riohacha, la capital del departamento.

La explotación de la sal marina a nivel industrial se hace en Manaure desde los años cuarenta. En los setenta se convirtió en la principal fuente de provisión de sal de Colombia. Allí se produce actualmente el 65% de la sal que se consume en el país. Su infraestructura productiva se extiende en 4 mil hectáreas con una capacidad para producir un millón de toneladas al año, pero se utiliza sólo en el 35% de esa capacidad productiva.” [5].

Basado en el estudio anterior. La empresa en la que se centra el estudio de la investigación, cuenta con una infraestructura tecnológica instalada de hace 3 décadas, desbastada por el salitre y demás factores climáticos, que no está a nivel de las tecnologías actuales. Y a pesar de que es potencia nacional en la producción de sal marina, se produce a un alto costo y muy bajo nivel de tecnificación.

Se identifica, que cada motor y bomba que hace parte del proceso, actualmente son accionados de manera manual por los operarios, este es un proceso en el cual hay una mala distribución de los tiempos de trabajo, sujeto a las limitaciones de reacción del operario. Ante una falla del sistema los trabajadores se ven expuestos, pudiendo ocasionarse accidentes laborales o en el peor de los casos la muerte de algún operario, cosas que se pueden evitar mediante la modernización del proceso, esto puede lograrse por medio de la implementación de sistemas automatizados en el control de procesos, elevando de manera significativa los niveles de producción y distribución de sal.

Basándose en la problemática existente se genera la siguiente incógnita: ¿Qué alternativas de automatización son viables y favorables para el proceso de lavado de sal de la empresa INDUSALCA LTDA.?

2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de buscar la mejoría para el proceso de lavado de sal, tiene como base fundamental la subsistencia, debido a que existe mucha competencia en este mercado con gran demanda e importancia, por lo que es preciso estar al nivel de otras poblaciones con mayores niveles de industrialización y que son auto-sostenibles. Es de vital importancia permitir que esta actividad siga siendo la principal fuente de ingresos de la población de Manaure, los cuales se traducen en beneficios para sus habitantes.

Debido a que uno de los autores de la investigación es oriundo de la región, describe a través del relato oral el pobre nivel de tecnificación que predomina en gran parte de esa región del departamento de La Guajira; adicionalmente todas las personas colaboradoras en la presente investigación realizaron un viaje a dicha región, en la cual tuvieron un acercamiento visual con la problemática existente. Lo anterior permitió comparar las regiones existentes en el país y decir que: El constante avance de la tecnología en nuestros días, exige de forma casi inmediata la búsqueda de nuevos recursos a la hora de desarrollar herramientas, o soluciones tecnológicas que satisfagan las necesidades del hombre. En cuanto a este tipo de soluciones, para nadie es un secreto el atraso tecnológico que posee La Guajira y que también es uno de los más golpeados en cuanto falta de cobertura en educación y desarrollo de infraestructura que se debe en gran medida a la falta de formación tecnológica de los habitantes nativos del departamento, por lo que se ve mucha mano de obra calificada foránea.

El departamento de La Guajira, aunque es una de las regiones más ricas en cuanto a minerales se refiere, se observa que se encuentra relegada en muchos aspectos si se compara con el resto de la región Caribe y aún más con las del centro del país.

Según Amylkar Acosta Medina [6].

“No obstante haberse constituido en la despensa minero-energética del país y del exterior, el desarrollo de La Guajira es precario, si lo medimos en términos de la satisfacción de las necesidades básicas de su población y el crecimiento de su economía. Y ello obedece en gran medida a que este, históricamente, ha tenido un comportamiento espasmódico, pues ha obedecido a los altibajos que caracterizan las bonanzas y La Guajira ha pasado por varias de ellas. Primero fue la bonanza de las perlas, luego vendría la del contrabando y la bonanza marimbera, hasta nuestros días, signados por la bonanza de precios del gas natural y el carbón. Además de que las bonanzas son fugitivas y sus beneficios temporales, en la medida que los desarrollos minero-energéticos no se desenclavan, carecen de raigambre y arrastre. Claro, que a ello han contribuido también, y de qué manera, las carencias en materia de infraestructura en todos los órdenes (vial, portuaria, comunicaciones, de servicios básicos) y por sobre todo en capital humano. Así se explica el escaso valor agregado que se le aporta al gas, al carbón y a la sal, alrededor de los cuales operan empresas extractivas de tales recursos, los cuales se comercializan en bruto y sirven de materias primas a otras latitudes. Una de las secuelas de este preocupante cuadro son los pésimos indicadores que exhibe el Departamento, todos ellos por debajo de los promedios tanto nacionales como regionales” [7].

El párrafo anterior es un extracto de un artículo titulado “Hacia una Guajira competitiva”, en el cual el autor expresa que el atraso en el departamento de La Guajira es una realidad latente y que sin importar que sea una de las regiones más ricas en cuanto a recursos naturales se refiere, no se escapa a las cifras que se manejan diariamente, en cuanto al avance o atraso tecnológico; posicionándola como una de las regiones en la cual el rezago tecnológico es más que evidente.

El avance tecnológico, exige de forma casi inmediata la exploración de nuevas herramientas y tecnologías que satisfagan las necesidades del hombre. En cuanto a este tipo de soluciones, para nadie es un secreto que el atraso es más que evidente en La Guajira Colombiana, y en algunos casos es un tema de influencia directa sobre las futuras generaciones.

Actualmente existen elementos y dispositivos que cuando trabajan de forma conjunta son capaces de ofrecer a los usuarios ciertas ventajas cuando se trata de optimizar sistemas de control, manejo de variables y facilidad en la administración de ciertos procesos.

Desde los inicios de la electrónica, el hombre siempre ha sido protagonista a la hora de desarrollar tecnologías que faciliten su labor diaria, como ejemplo de este constante avance surgieron los controladores lógicos programables, unos dispositivos que desde su aparición han facilitado la labor de muchas de las personas o empresas que llegan a tener una implementación de este tipo, para solucionar problemáticas existentes en cuanto a procesos que necesiten aumentar la productividad.

En el mercado existen gran variedad de marcas y productos adecuados para solucionar este tipo de problemáticas. Para procesos industriales y de alto rendimiento, encontramos PLC que son muy útiles en procesos que no requieran un gran nivel de seguimiento humano durante el tiempo de producción. En caso de manejar procesos que necesiten mayor control humano, como el manejo de variables, calibraciones de mezclas, encendido de procesos en tiempos específicos, en procesos 24/7/365 (24 horas, 7 días a la semana, los 365 días del año).

Los controladores como muchos de los dispositivos electrónicos de hoy día, fueron instrumentos que tuvieron una etapa de evolución rápida y cuyos cambios han traído consigo ventajas a la hora de llevarlos a la implementación, éstos han sido la base de la automatización industrial actualmente. Desde su aparición en la década de los setenta, han facilitado en un alto porcentaje las labores ejecutadas en las industrias gracias a la implementación de este dispositivo.

Con el diseño de la solución basada en esta clase de dispositivos, propuesto en la presente investigación, se estimulará a las empresas de la región a implementar tecnologías avanzadas en sus procesos logrando así aumento en la producción y una excelente calidad en sus productos, disminuyendo el desgaste físico por parte de los trabajadores.

La modernización hará que muchas de las personas de la región se preocupen por capacitarse y expandir sus conocimientos, preparándose en todo lo relacionado a las nuevas tecnologías, lo cual les facilitará su labor diaria y gracias a esto tendremos mano de obra calificada, alcanzando de esta forma el desarrollo en la región.

Asimismo con la posible ejecución de la solución planteada, se estaría brindando posibilidad a la empresa de mejorar sus ingresos y tener tecnología de punta, logrando así que no solo aumenten su producción y calidad de trabajo, sino que logren una mejor administración de los tiempos de arranques y paradas del proceso, reduciendo de esta manera las pérdidas de la materia prima.

De igual manera con el diseño y una posible construcción y entrada en funcionamiento de un sistema de control automatizado para el lavado de sal marina, se estará dando a conocer los progresos en el sector tecnológico de la región y en especial del área de Ingeniería Electrónica que imparte la Corporación Universitaria de la Costa – CUC, como un aporte más al desarrollo del talento humano del país.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar el proceso de lavado de sal para llevado a cabo en la empresa INDUSALCA Ltda., para el planteamiento de la automatización de su proceso².

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la solución de la automatización del proceso de lavado de sal en base a las necesidades del cliente.
- Describir de manera detallada las funciones que llevará a cabo el controlador para el óptimo desempeño de la planta.
- Especificar el nuevo sistema, teniendo en cuenta las necesidades planteadas, para los procesos llevados a cabo durante el proceso del lavado de la sal.
- Elaborar el software para el autómata programable, que maneje el proceso de lavado de la sal.

² Durante la etapa inicial del proyecto, el objetivo general se definió como el diseño de la automatización del proceso de lavado de sal, pero éste se adaptó al actual debido a los problemas que se presentaron con los trabajadores de la planta del sitio y la posterior decisión de no automatizar hasta que la planta se trasladara al lugar donde se coordinaban la mayoría de operaciones (refinamiento, empaquetado, etc.).

4. DELIMITACIONES DEL TEMA

4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación tuvo un tiempo aproximado de duración de diez meses, abarcados desde Marzo hasta Noviembre de 2010.

4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El desarrollo de la siguiente investigación se llevará a cabo en Manaure, municipio del departamento de La Guajira, en la empresa INDUSALCA Ltda., en donde es llevado a cabo el proceso de lavado de sal.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO DE ANTECEDENTES

Debido a que uno de los miembros del grupo de investigación es originario de este municipio, se tuvo acceso a información de sus familiares mediante la tradición oral, la cual permitió recolectar el siguiente relato: la técnica de lavado de sal es una técnica utilizada por los habitantes indígenas originales de la población de Manaure en el departamento de la Guajira, la cual se viene utilizando desde hace muchos años. Este asentamiento se sitúo muy cerca del mar, en un territorio en donde en épocas de marea alta, el mar adentra hasta las tierras secas y después que pasa el fenómeno lunar se estanca, por lo que el agua entra en proceso de evaporación y se seca, dejando un residuo que no se evapora, la sal marina. Los habitantes de la zona se dieron cuenta del valor comercial de este producto y comenzaron a negociarlo haciendo trueque con las poblaciones cercanas. Cambiaban este producto por frutas, verduras y cosas de valor que no se veían en esta población. Así fue como se dieron cuenta que podían producir algo de gran valor comercial en esta tierra desértica.

Con el pasar de los años se perfecciono la técnica, este refinamiento, la buena calidad de la sal marina, y su forma tradicional de explotación permitió que la población ganara reconocimiento nacional e internacional; el tiempo ha transcurrido y el proceso artesanal se ha mantenido.

“El lavado es un tratamiento básico que recibe la sal sin importar cuál sea su futura aplicación y tiene como objetivo principal separar partículas finas tales como la arcilla, arena, lodo y otras que puedan encontrarse en la periferia del grano”[8].El proceso de lavado, es un proceso básico en el cual se trata de eliminar la mayoría de impurezas que acompañan este mineral, este procedimiento es uno de los procesos más importantes antes de que la sal pase por otros más complejos, como lo son el de la refinación y adaptación para los diferentes tipos de consumos, ya sea industrial, humano o animal.

5.2. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la siguiente investigación se consultaron textos (mirar bibliografía), que sirvieron de apoyo para indagar más acerca de la investigación y desarrollo de soluciones en el área de automatización en el ámbito industrial y que colaboraron en la escogencia de la mejor solución para la problemática planteada, se hizo uso de un proyecto denominado: diseño de un banco de pruebas con el PLC S7-200 de siemens para optimizar el laboratorio de automatismo de la Corporación Universitaria de la Costa, en el cual los autores definieron un proyecto de investigación en el que diseñaron un banco de prueba con el controlador S7-200 con la finalidad de que los contenidos curriculares y los objetivos de la materia de automatización se cumplieran; para la investigación correspondiente al diseño de la automatización del proceso de lavado de sal, este documento sirvió de apoyo teórico, ya que las teorías plasmadas en él, sirvieron de base para el desarrollo de las pruebas con los autómatas con los que cuenta la universidad, adelantando pruebas correspondientes al control automatizado de la

planta de lavado y evaluando el entorno en el cual se iba a desarrollar el proyecto, con el fin de tener la base del diseño del software que más adelante sería implementado, según el tipo de controlador escogido.

Se consultó el libro Autómatas Programables. Entorno y aplicaciones, en donde se plasman todas las teorías a tener en cuenta para la elaboración del proyecto y documentación en general.

Existen varios temas en los cuales se basa el trabajo, pero principalmente se indica los siguientes:

- Procesos Industriales.
- Autómatas Programables PLC.
- Métodos de desarrollo para electrónica: RUP y proceso ICONIX

Todos estos temas son tratados con el fin de alcanzar los objetivos trazados al comienzo de la investigación que fueron planteados; acá se hablará de los elementos principales de automatización que serán empleados. Se tratará de ampliar y enfocar desde un punto de vista teórico y práctico, la visión que se tiene es que la parte final del trabajo sea la implementación de equipos y autómatas en el proceso industrial del cual se ha planteado en los objetivos.

El texto guía utilizado para la estructuración y organización de la monografía fue: Metodología de la investigación. Propuesta, anteproyecto y proyecto [9]; en el cual está contenidos todos los temas a tener en cuenta para la presentación de documentos.

Y por último, se destacan los libros de: El proceso unificado desarrollo software, de Ivar Jacobson, James Rumbaugh y Grady Booch y Use Case Driven Object Modeling with UML. Theory and Practice [10] de Doug Rosenberg y Matt Stephens, en los cuales se encuentran la mayor parte de la teoría utilizada en el desarrollo del siguiente trabajo, ya que en estos se fundamentó la forma en cómo se obtendría y modelaría la información por parte de los afectados, para el posterior diseño de la solución a la problemática planteada.

5.2.1. Autómatas Programables

Hasta no hace mucho tiempo los procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés; y muchas industrias aún son manejadas bajo este principio, el operario a cargo de este tipo de instalaciones, se le exige tener altos conocimientos técnicos para poder realizar el proceso y mantenerlo. Cualquier modificación que se requiera en el proceso implica cambiar gran parte de los equipos y la conexión de los montajes; lo que implica un gran desembolso económico y esfuerzo técnico.

Se le conoce a los autómatas programables (o PLC – Controladores Lógicos Programables) como toda máquina de tipo electrónica y que es diseñada para controlar de forma autónoma en tiempo real y en medios industriales.

La ejecución del programa, es realizada sobre las señales de entrada y salida a la cual el sometido el autómata; las interfaces de entrada y salida sobre las cuales actúan este tipo de señales varían según las

características del proceso sobre el cual se está trabajando, de esta forma se pueden encontrar señales analógicas o discretas. La clase y ubicación de este tipo de interfaces se definen por parte del usuario, el cual adapta el autómata a las necesidades que demande el proceso.

Se pueden citar ejemplos de señales de entrada, tales como lo son los finales de carrera, interruptores, entre otros; mientras que las salidas son del orden on/off o también conocidas como todo o nada, este tipo de señales son enviadas a elementos actuadores e indicadores dentro del proceso indicadores tales como bombillos, sistemas de alarmas, válvulas, entre otros.

La configuración del autómata, como en todo sistema de microprocesador, incluye cuatro bloques básicos:

- Una CPU o unidad central de proceso.
- Memoria interna de trabajo (RAM).
- Memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM).
- Interfaces de entrada y salida.

Aparte de estas cuatro etapas el autómata eventualmente puede establecer comunicación con periféricos exteriores, por ejemplos seria sacar datos por impresora, comunicación con otros ordenadores o autómatas, conexión con la unidad de programación, etc.

Se puede ser más explícito diciendo que las partes básicas del autómata son:

- Fuente de alimentación.
- CPU.
- Módulo de entrada.
- Módulo de salida.
- Terminal de programación.
- Periféricos.

Respecto a su disposición externa, los autómatas pueden contener varias de estas secciones en un mismo modulo o cada una de ellas por separado en diferentes módulos, así se puede distinguir autómatas compactos y modulares [11].

5.2.1.1. Lenguajes de programación

Cuando surgieron los autómatas programables, se hizo con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra contruidos por contactores y relés. Por lo tanto la comunicación hombre máquina debería ser similar a la utilizada hasta ese momento. El lenguaje usado, debe ser interpretado con facilidad, por los técnicos que se encuentran en contacto con las instalaciones. Muchos de estos lenguajes han evolucionado de tal manera que algunos ya no tienen que ver con el típico plano eléctrico a relés.

“Las interfaces Hombre-Máquina (HMI) o interfaces Hombre-Computadora (CHI), formalmente conocidas como interfaces Hombre-Máquina, son comúnmente empleadas para comunicarse con los PLC y otras computadoras, para labores tales como introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos o respuesta a

mensajes de alarma. El personal de servicio que monitorea y controla estas interfaces es conocido como ingenieros de estación.

Otra forma de automatización que involucra computadoras es la prueba de automatización, donde las computadoras controlan un equipo de prueba automático que es programado para simular seres humanos que prueban manualmente una aplicación. Esto es acompañado por lo general de herramientas automáticas para generar instrucciones especiales (escritas como programas de computadora) que direccionan al equipo automático en prueba en la dirección exacta para terminar las pruebas.” [12]

5.2.1.2. Robustez

Cuando un equipo opera, maneja maquinas, procesos, etc. Debe ser diseñado de manera robusta, haciéndose base a que pueda trabajar las 24 horas del día los 7 días de la semana los 365 días del año; alta tolerancia a fallos y construido con elementos predecibles y confiables. Esto con el fin de que la producción sea eficiente, la maquinaria y el proceso no genere riesgos tanto para el producto y principalmente la vida del operario.

Las características más deseables que se pueden observar en la robustez de un dispositivo son:

- Modular: Consiste en separar por medio de módulos la funcionalidad del PLC, definir claramente las partes de cada módulo, que se realice de forma adecuada y observar que allá una

clara interface que permita una adecuada interacción. Esto permite concentrarse en cuestiones técnicas puntuales, manejando así mucho más fácil la complejidad, donde cada módulo se puede aislar permitiendo una mejor gestión de fallos.

- Facilidad de manejo: Se basa en la parte del diseño y el aspecto del dispositivo, dando comodidad al instalar y remover; fácil conexión, acceso al tablero, etc. Todo para indicar un fácil y adecuado uso del dispositivo.

5.2.1.3. Características

- Sistemas y equipos redundantes, que permitan en la eventualidad de una falla, tener un respaldo en su redundancia.
- Sensores y actuadores de acuerdo con estándares con altos niveles de calidad, seguridad, confiabilidad, adecuados al ambiente, etc.
- Sistemas que puedan ser manejados de forma dual automático/manual, permitiendo a los operarios tomar la responsabilidad sobre el manejo del proceso.
- Adecuadas estrategias de control que mantengan al proceso dentro de los rangos permisibles de seguridad, industriales y comerciales.

- Adecuados programas realizados por el usuario que, ejecutados por el autómata, manejen de forma apropiada el proceso.

5.2.2. Métodos de desarrollo para electrónica

Durante el desarrollo de la siguiente investigación, independiente de las teorías aplicadas a las problemáticas presentadas para hallar las soluciones más acordes con las necesidades expuestas por el usuario final dentro del proyecto y las soluciones de éstas por parte de los autores. El proceso consiste en interpretar las necesidades del cliente y darles sus respectivas soluciones, teniendo en cuenta los requisitos manifestados por ellos; se estructuró de tal manera, que se utilizaron etapas de desarrollo de la solución, la cual permitía determinar factores que podrían haber afectado su funcionamiento, a partir del diseño y ejecución de pruebas durante la etapa de desarrollo y así corregirlos, adaptando la solución a las necesidades del cliente.

Para el desarrollo de la presente investigación, se inició con el Proceso Unificado de Rational, (RUP, por sus siglas en inglés Rational Unified Process) el cual es un proceso orientado a la elaboración de software, fundamentado en una serie de fases que permite sentar los objetivos del proyecto de manera clara y concreta. De esta forma, su elaboración no resulta confusa ni engorrosa para los autores, desarrolladores, analistas y los clientes finales. Este lenguaje proporciona una mejor comunicación entre los desarrolladores y los usuarios finales, evitando ambigüedades y terminologías que puedan parecer confusas para ellos.

Durante la etapa de desarrollo, el equipo de trabajo (director y estudiantes) notó que el proceso unificado no solo se aplica al Software,

sino también a proyectos más robustos, como la estructuración de procesos que impliquen el uso de hardware, permitiendo utilizar este análisis en diferentes modalidades.

Rational tiene flujos de trabajo y disciplinas, donde se especifican las actividades que van a ejecutar los desarrolladores (véase Figura 5.1).

Como expresan sus creadores [13], RUP es un proceso iterativo e incremental, esto quiere decir que durante el desarrollo de un producto, éste pasa por ciertas etapas de refinamiento donde se resuelve paso a paso la problemática, mientras se construye un diseño robusto, y el producto deseado; todo esto se realiza mediante pequeños incrementos controlados que le añaden en cada ciclo una o más funcionalidades al producto.

Desde este punto de vista, se engloban las ideas suministradas por el cliente y se interpretan de manera independiente, mediante casos de uso y a partir de ellos se realizan pequeñas versiones o lanzamientos que son evaluados por los dueños del producto. Cada iteración recorre una serie de disciplinas de ingeniería que terminan en el lanzamiento de un prototipo que contiene más funcionalidades que la del lanzamiento anterior; de forma paralela a lo anterior se realizan actividades de gestión del proyecto que se agrupan conceptualmente en unas disciplinas adicionales de soporte del proceso. Esta forma de trabajar permite adaptarse a las nuevas necesidades que puedan llegar a surgir en desarrollo del proyecto, dando lugar a mejoras incrementales técnicas y de diseño. A esto se le llama ciclo de vida de desarrollo de software según el proceso unificado, la Figura 5.1 ilustra esto.

Figura 5.1. Ciclo de vida del desarrollo de software

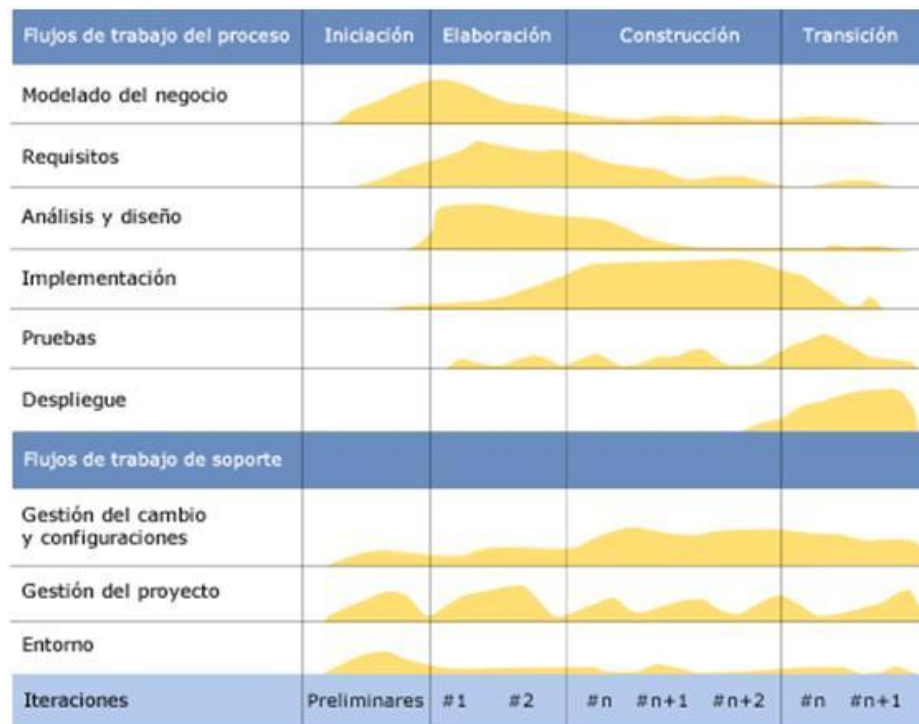


Imagen tomada de:

http://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_Unificado_de_Rational.

Como se mencionó anteriormente, el método de RUP, es un proceso que mediante la ejecución de cada una de las disciplinas y fases estipuladas en él, permite la elaboración de un producto de calidad, guiado más que todo por las necesidades que el cliente expresa.

Debido a que el proceso unificado es extenso y costoso, no se implementó en su totalidad, llegando solamente a una aproximación, donde se buscó seguir la filosofía de trabajo descrita.

En la Figura 5.1, se observan las fases y disciplinas que componen a RUP, a continuación se hablará brevemente de cada una de ellas.

5.2.2.1. FASES DEL PROCESO UNIFICADO DE RATIONAL

“Una fase es el intervalo de tiempo entre dos hitos importantes del proceso durante la cual se cumple un conjunto bien definido de objetivos, se complementan artefactos y se toman las decisiones sobre si pasar la siguiente fase” [14]. Las cuatro fases de trabajo para el buen desarrollo de un software que proponen son: concepción, elaboración, construcción y transición.

Concepción: en esta fase, se establecen los alcances del proyecto, se tienen en cuenta los requisitos y se establece un plan inicial para el proyecto, también es posible crear un prototipo preliminar conceptual.

Elaboración: en esta parte se establece una base arquitectónica y se construyen los factores más riesgosos a los que puede estar expuesto el proyecto.

Construcción: en esta fase se prepara un producto con todas las características capturadas en los requisitos, refinando el diseño y la implementación, con el fin de entregar el producto final al usuario.

Transición: en esta última fase se entrega el producto final, completamente terminado a los usuarios.

Estas fases están apoyadas por una serie de disciplinas que estructuran el proceso. Las disciplinas que componen el método de Rational son nueve, divididas en dos grupos, las que se refieren a ingeniería consistentes en “modelado del negocio”, “requisitos”, “análisis y diseño”, “implementación”, “pruebas”, y “despliegue” y las de soporte que las

constituye “gestión de cambios y configuración”, “gestión del proyecto”, y “entorno”.

5.2.2.2. DISCIPLINAS DEL PROCESO UNIFICADO DE RATIONAL

Modelado del negocio: se describe la estructura y la dinámica del cliente.

Requisitos: se extraen las necesidades mediante la aplicación de diversos métodos.

Análisis y diseño: muestra las diversas vistas arquitectónicas.

Implementación: se tienen en cuenta el desarrollo, las pruebas y la integración.

Pruebas: ejecución de pruebas para hallar posibles fallos.

Despliegue: incluye aspectos propios de la entrega, tales como la facturación de los materiales.

Gestión de cambios y configuración: adaptar las tareas próximas a realizar durante la siguiente fase o iteración.

Gestión del proyecto: se describen las estrategias de trabajos en un proyecto iterativo.

Entorno: abarca la infraestructura necesaria para ejecutar un proyecto.

Como se ha venido mencionando, los investigadores del presente proyecto, se basó en RUP, que si bien es un marco de trabajo originalmente creado para el desarrollo de software, hubo etapas de éste que pudieron ser llevadas sin ningún inconveniente al desarrollo de sistemas que implicaran la utilización del algún tipo de hardware (sistemas embebidos).

Pero RUP es un proceso demasiado extenso, por lo que muchas de las disciplinas descritas en éste no se aplicaron al desarrollo del presente proyecto, por este motivo, los autores de la presente investigación liderados por el Ingeniero Rubén Sánchez Dams, utilizaron una aproximación de otro proceso de desarrollo compatible con RUP llamado ICONIX.

ICONIX, es un proceso práctico de desarrollo de software. Éste es más sencillo, si se compara con el Proceso Unificado, el cual consiste de un conjunto de métodos orientados a objetos con el objetivo de abarcar todo el ciclo de vida de un proyecto. Fue elaborado por Doug Rosenberg influenciado significativamente por los trabajos originales de los principales creadores del Proceso Unificado, llamado los tres amigos (Booch, Rumbaugh y Jacobson), dándola a conocer y soportando la metodología desde 1993 (fecha previa al lanzamiento del RUP).

El proceso ICONIX, es compatible con RUP, pudiendo implementarse de forma iterativa e incremental, teniendo características propias como una trazabilidad completa desde los requisitos hasta la implementación mientras hace uso del UML. En este sentido la trazabilidad se entiende como la característica que tiene el proceso de hacer seguimiento; ésta va desde el enunciado del requisito hasta su implementación en una

funcionalidad o característica del producto y viceversa, pasando por el análisis, el diseño, y las pruebas.

Así mismo propone de forma innovadora al “diagrama robusto” con el que se plasma una técnica de depuración de requisitos (casos de uso) e identificación de nuevos objetos llamada análisis robusto.

Para que este proceso sea satisfactorio, ICONIX sigue una serie de pasos, conocida como “tareas” (equivalentes a las disciplinas de RUP) que realiza el equipo de trabajo, en busca de la consecución del producto.

Las tareas esenciales que tiene en cuenta el proceso ICONIX son las siguientes:

- El análisis de requisitos.
- El análisis y diseño preliminar.
- El diseño.
- La implementación del o producto (incluidas las pruebas).

Como se mencionó anteriormente, ICONIX y RUP son procesos que van de la mano, sólo que uno se centra en un conjunto esencial de prácticas y el otro es toda una base de conocimientos orientada a la realización de proyectos complejos de forma exitosa. Para la presente investigación de las nueve disciplinas de RUP, sólo se hizo uso de cuatro de ellas (las equivalentes a las “tareas” en el proceso ICONIX), a saber *modelado del negocio, requisitos, análisis y diseño* y por último las *pruebas*.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

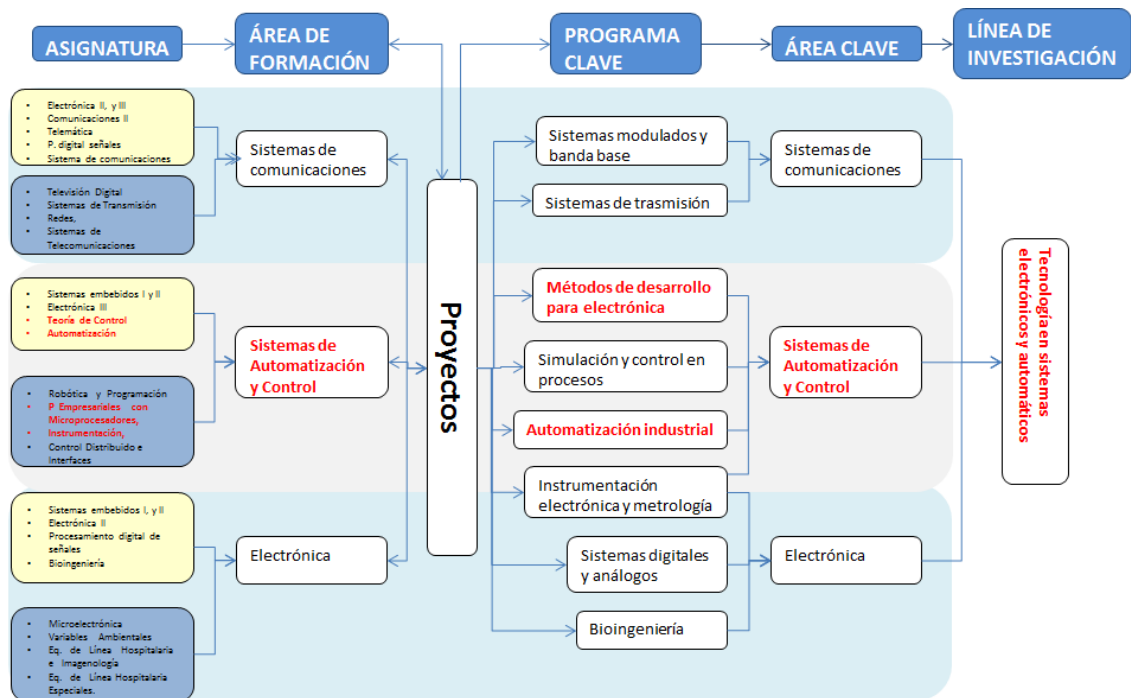
En el desarrollo del siguiente proyecto, los autores optaron por definir más de un tipo de investigación, ya que una de las características más importantes que posee el proyecto es que se encontrará dividido por etapas y cada una de éstas, tienen que encajar de forma coherente con las investigaciones que se utilicen.

De esta forma, uno de los tipos de investigaciones a usar, será de tipo aplicada, ya que no sólo se tendrán en cuenta teorías y/o trabajo realizados por connotados autores en el área de la automatización industrial y el control de procesos, sino que se hará uso de esas teorías para el diseño, construcción y posterior implementación; asimismo como técnicas de aplicadas en los procesos de desarrollo, en los que la obtención de los datos es de vital importancia para la correcta organización y estructuración de proyecto. En este tipo de investigación, se entrarán a evaluar los recursos que la empresa dispone, y de qué manera se pueden mejorar los procesos que actualmente se vienen manejando.

Conociendo esto, la evolución o desarrollo de la presente investigación, se centrará en la búsqueda de las posibles soluciones, facilitando el proceso de asesoría y escogencia de soluciones que permitan implementar sistemas de control más confiables.

De igual manera, la investigación se encuentra enmarcada de forma general dentro de la ruta modelo de ingeniería electrónica (véase Figura 6.1), en donde se encuentra la línea de investigación denominada Tecnología en sistemas electrónicos y automáticos, colocando la investigación dentro de los programas claves de Sistemas de Automatización y Control y Métodos de desarrollo para electrónica, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo de la presente investigación; haciendo énfasis en el área de formación de Sistemas de automatización y control. Asimismo la presente investigación, se encuentra estructurada en base a las asignaturas contenidas en dicho modelo. En la Figura 6.1 se encuentran resaltadas las temáticas que se tuvieron en cuenta para la elaboración de la investigación.

Figura 6.1. Ruta modelo Programa Ingeniería Electrónica



6.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se aplicarán métodos descriptivos para hacer un levantamiento detallado de la situación actual de la plata para luego de eso identificar cuáles son las falencias en el proceso y automatizar aquello que pueda optimizarlos. También será una investigación tipo aplicada ya que se estará utilizando tecnología ya existentes que permitirán la el diseño e implementación de la automatización del proceso de Lavado de Sal Marina.

6.3. POBLACIÓN

La población está constituida por aproximadamente 8 trabajadores vinculados directa al proceso de lavado de la sal. Y aproximadamente 500 familias que tienen la explotación de la sal marina como sustento y única entrada de dinero.

7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS³

7.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIA

Basándose en la observación y posterior análisis de los métodos que son usados en INDUSALCA Ltda., empresa ubicada en el municipio de Manaure, en la cual se centra el estudio de la presente investigación, se detalló que se siguen ciertas rutinas a la hora del lavado, secado y distribución de la sal marina, que al ser vistas desde la perspectiva tecnológica, no son más que procesos repetitivos en los cuales el mismo operador debido a su experiencia, decide cuándo es apropiado iniciar cada una de las fases que componen este proceso, haciendo de esto un sistema de control que no es del todo eficiente debido que el elemento controlador, que en este caso es el operario, debe estar pendiente de los posibles fallos o averías que pueda presentar tanto el sistema de control de lavado, como los elementos que intervienen en este proceso.

De igual manera, para obtener los datos contenidos en la siguiente investigación y que sirvieron de ayuda a los investigadores para centrarse e indagar cada vez más en la problemática planteada y poder consolidar un estilo de trabajo que ayude a la solución de ésta, fue necesario la aplicación de un cuestionario, en el que los directos afectados, en este caso el personal de INDUSALCA Ltda., brindó de manera detallada qué labores son ejecutadas dentro del proceso del

³ La información contenida en este ítem, estuvo basada en el texto de H. LERMA GONZÁLEZ, Metodología de la investigación. Propuesta, anteproyecto y proyecto, 4th ed. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones, 2009.

lavado de sal, en la cual los datos obtenidos fueron de vital ayuda para conocer más a fondo los problemas que se pueden llegar a presentar durante la ejecución de dicho proceso. En esta entrevista, se detectaron los inconvenientes que se pueden llegar a presentar en cada una de las tareas que son llevadas a cabo por los operarios, que elementos o procesos contenidos dentro del proceso principal son susceptibles a los cambios o mejorías y qué importancia tiene la buena ejecución de éstos llevados a cabo dentro de la planta y el papel que cumplen para la obtención de un producto de calidad.

7.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS SECUNDARIAS

En esta parte, se hizo una consulta mediante el uso de bases de datos especializadas, documentos y tesis de grados que trataban temas similares al de la presente investigación, los cuales colaboraron en la búsqueda del estado actual del arte.

7.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

7.3.1. Instrumentos de recolección de datos primarios

Para la captura de información se recurrió a la aplicación de una entrevista realizada al personal de INDUSALCA, con el fin de obtener información extra acerca de la problemática presentada, la evidencia de dicha entrevista fue almacenada tanto en medio magnético, como en físico, en donde se procedió de la siguiente manera: se iniciaba con un perfil del usuario o afectado; en donde se interactuaba de forma directa

con el personal implicado con el proceso o problemática tratada; aquí se reseñaba a la persona con la que se estuviera sosteniendo la entrevista, se tomaban datos personales y los roles que desempeñaba dentro de la empresa, luego de esto se procedía a realizar las preguntas, que previamente estructuradas, el analista le realizaba al usuario, estas preguntas se centraban primeramente en las actividades que los empleados realizaban dentro de la empresa, iniciando desde las tareas más básicas e incluso los posibles problemas que el analista considerara que se pudieran llegar a presentar a lo largo de una tarea específica.

Luego de esto se proseguía a una evaluación el problema, en donde se desarrollaba el proceso central, en esta parte se profundizaba más durante la etapa de la entrevista y se indagaba por los posibles problemas que se presentaban a lo largo de la ejecución de un proceso en específico. Durante esta parte no sólo se recurrió al relato que los usuarios brindaran, sino que el analista también mediante una inspección visual podía llegar a detectar las posibles causas de la problemática planteada y en base a éstas empezar a estructurar las soluciones que se puedan llegar a implementar.

Finalmente, el analista procedía a evaluar el o los ambientes en lo que se presentaba la problemática y la forma en cómo ésta repercutía en la acciones o en las necesidades reseñadas por los clientes. Dentro todo este proceso de adquisición de datos, este es uno de los puntos más importantes, ya que acá se tiene una idea mucho más generalizada de lo que los usuarios quieren para su sistema final, moldeando las ideas en base a sus necesidades.

Luego, a partir de los datos obtenidos y habiendo realizado un análisis, se procede a ejecutar el proyecto, tomando como referencia las soluciones planteadas por los usuarios finales y ajustándolas de acuerdo a sus prioridades, de esta forma haciendo entrega de un producto guiado meramente por los requisitos del usuario.

7.3.2. Instrumentos de recolección de datos secundarios

Para la búsqueda de información extra, se accedió a páginas de internet y se realizaron consultas a bases de datos especializadas.

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Durante la búsqueda del estado actual del arte para los procedimientos que son llevados a cabo para la obtención de la sal, se indagó a través de fuentes bibliográficas fiables, artículos, libros e incluso proyectos que al igual que este, brindaron soluciones a través del diseño o implementación de nuevos y mejorados sistemas a distintas problemáticas derivadas del trabajo con esta clase de mineral.

En esta exploración bibliográfica, los autores de la presente investigación se encontraron con un trabajo de grado denominado “diseño de una máquina tipo tornillo para lavar sal”, en la cual el autor describe de manera detallada el diseño que tendrá que ser llevado a cabo para solucionar la problemática que se presenta en la planta que es objeto de su estudio, la cual está siendo afectada por la constante merma de materia prima durante el proceso de lavado de sal. En dicho documento, el autor relata la forma en la cual se obtiene la sal y los procesos a los cuales es sometida para librarla de las impurezas, pero los métodos que son utilizados para el lavado de la sal, son pocos convencionales, ya que existe una constante pérdida de la materia prima.

El método llevado a cabo para el lavado de la sal, consta de un mecanismo sencillo, que se compone de un tornillo que está sumergido dentro de una piscina de salmuera en la que es depositada la sal sucia, mediante agitación, se mezcla la sal sucia junto con la salmuera, debido a que el tornillo está dentro de la piscina, éste mediante rotaciones constantes lleva la sal hacia el exterior de la piscina de salmuera para

finalmente apilarla, la Figura 8.1 muestra un esquema de este sistema de lavado.

Figura 8.1. Ejemplo de máquina tipo tornillo para lavar sal

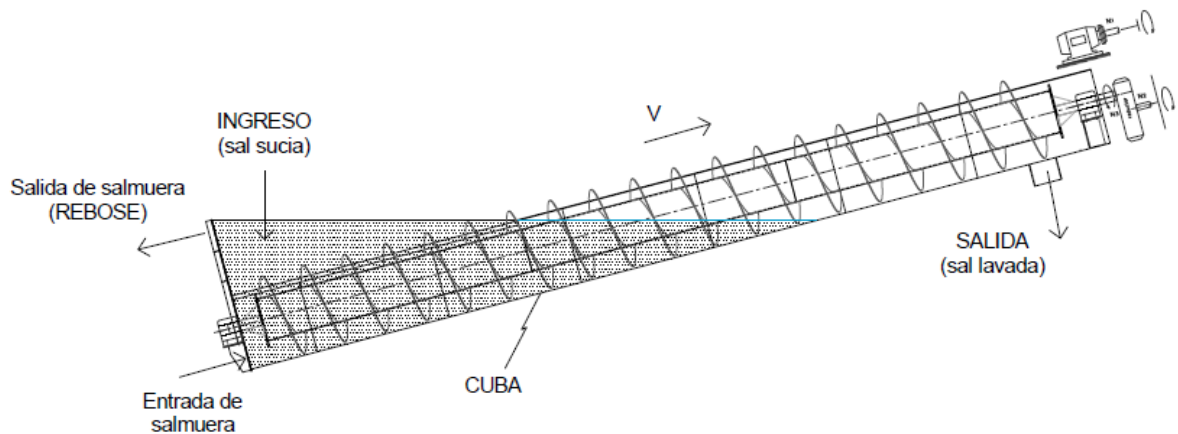


Imagen tomada de la tesis titulada Diseño de una máquina tipo tornillo para lavar sal.

En este proceso, el desgaste de material para la producción de sal es bastante alto, debido a que la sal contenida dentro del depósito de salmuera se va diluyendo debido a la constante agitación a la que es sometida.

Para el proceso llevado a cabo en INDUSALCA, existe un depósito de salmuera al igual que en el proyecto previamente descrito en el cual está almacenada la solución que se usará en el proceso. (Ver Figura 8.2)

Figura 8.2. Depósito de salmuera de la empresa INDUSALCA



Esta solución es conducida a través de unas tuberías hacia la torre de lavado (Figura 8.3) mediante las bombas de mezclado y enjuague (Figura 8.4) o la tolva contenedora de sal sucia (Figura 8.5), lugares donde es llevado a cabo el proceso de lavado.

Figura 8.3. Torre de lavado



Durante el proceso de lavado, la sal asciende a través de una tubería hacia la torre de lavado, la cual contiene una red de tamizado (Figura 8.6) en la que la sal va cayendo a medida que es lavada mediante los aspersores o flautas de salmuera (Figura 8.7) que están al interior de estos, para finalmente caer dentro del cesto de centrifuga (Figura 8.8) para retirar el exceso de salmuera.

Después de retirado el exceso de salmuera la sal cae sobre el tapete que está ubicado debajo de la centrifugadora (Figura 8.9), llevándolo hacia el stacker (Figura 8.10) para finalmente apilar el producto libre de impurezas.

Figura 8.4. Bombas de enjuague y mezclado



Figura 8.5. Tolva contenedora de sal sucia.



Figura 8.6. Red de tamizado.



Sin embargo la competitividad económica exige que se integre la nueva tecnología en los procesos productivos, de esta forma se permite estar a la altura de la competencia. La automatización es una forma de lograr esto, permitiendo mejorar la calidad y la cantidad de producción generada. Debido a esto la forma de explotación ha venido cambiando buscando estar acorde con las nuevas exigencias, es así como la empresa INDUSALCA ha venido introduciendo maquinaria para mejorar la forma de explotación de la sal, sin embargo falta un camino por recorrer en este desarrollo.

Después de un análisis preliminar de la planta se encontró por ejemplo que, actualmente no se cuenta con sistemas de seguridad o alerta de fallos, así como tampoco se cuenta con un sistema inteligente que controle e integre las diferentes fases del proceso. Por estas razones y en busca de la competitividad son deseables sistemas como la gestión de señales, alarmas, autómatas programables que asistan el proceso, encendidos de planta, etc., que permitan obtener un producto uniforme y de calidad garantizada.

Figura 8.7. Aspersores o flautas de salmuera



Figura 8.8. Etapa de centrifugado



Figura 8.9. Tapete



Figura 8.10. Stacker



9. ANÁLISIS DE DATOS

En la búsqueda de las soluciones más apropiadas para la problemática presentada, en la entrevista realizada al personal de INDUSALCA, se detectó que no sólo había problemas de carácter tecnológico por solucionar, sino que independiente este visible atraso se detectaron fallas que implican pérdidas constantes en la producción.

Para la entrevista, en el cual el personal de INDUSALCA jugó un rol importante en la adquisición de información de la cual se derivan las soluciones tecnológicas para la solución de la problemática que actualmente demanda la empresa.

En primera instancia del proyecto en cuestión se nota que es un proyecto que involucra más de una disciplina ya que en éste, aparte de la mejoras tecnológicas que se puedan llegar a implementar, están representados en él otras áreas en las que se puede llegar a profundizar, tales como lo es la parte del manejo de los recursos, administración y control de vertimientos, en fin todo aquello relacionado con la parte que involucra un control más allá del que se le pueda dar con las soluciones que se puedan llegar a dar en el ámbito de la electrónica.

Teniendo en cuenta esto, los autores de la presente investigación, aplicaron la entrevista sólo a dos personas que están relacionadas de forma directa con la problemática presentada. La forma en la que se estructuró la entrevista se hizo de una manera en la cual se facilitará detectar las necesidades que podían llegar a tener los usuarios

involucrados con el sistema, desde el momento de su comienzo hasta la finalización del proceso, que es el lavado de la sal. La entrevista se dividió en cuatro partes, en la que en cada una de ellas derivó preguntas con el fin de tener una mejor organización y así poder tener una mejor conclusión de los datos obtenidos. La entrevista se dividió en los siguientes puntos.

El primero, perfil del usuario o afectado; en esta parte de la entrevista quedaron reseñados los nombres del personal, el cargo que ejecutan, las responsabilidades que ejecutan y las posibles injerencias que se puedan llegar a presentar durante la ejecución de cada una de sus tareas; como se mencionó anteriormente durante toda la entrevista se contó con la colaboración de dos personas involucradas directamente con el proceso llevado a cabo en INDUSALCA, que son el operario del tablero eléctrico quien es el encargado del arranque y parada de cada una de las bombas y el director de la planta, el cual se encarga de dirigir y coordinar los arranques previos al lavado de sal.

En la segunda parte de la entrevista, evaluando el problema; se adentró un poco más hacia el entorno en el cual se desarrolla el proceso en el que se ejecuta el proceso de lavado de sal, en esta parte, se indagó por los posibles problemas que se pueden llegar a presentar en el entorno de trabajo, los equipos en los que se puedan a llegar presentar problemas. Para esta parte de la entrevista se obtuvieron distintas observaciones por parte de los usuarios afectados, en los que se observó la fluidez en el manejo de ciertos temas concernientes al proceso ejecutado, por ejemplo se notó que a pesar que el operario está en contacto de una manera más directa con la problemática presentada, hubo lapsos durante la entrevista donde sus respuestas carecían de

cierta autoridad en el manejo del tema, complicando un poco la labor de adquirir requisitos y necesidades a satisfacer; caso contrario de lo que sucedió con el ingeniero encargado de la planta, el cual ofrecía respuestas puntuales y que de cierta forma ayudaron a aterrizar un poco más la problemática, facilitando a los investigadores a idear nuevas soluciones que mejoraran el entorno de trabajo. Los autores detectaron que la problemática que se destaca en este punto, independiente de las fallas técnicas, fue la de falta de capacitación del personal que se encuentra en la planta de Manaure, ya que algunos de estos carecen del conocimiento técnico en caso de que se presenten fallas y cuando éstas se presentan, el proceso debe detenerse y esperar a que personal capacitado llegue, evalúe la situación y proceda a realizar los respectivos mantenimientos.

En la tercera y en la cuarta parte de la entrevista, se evalúan y se resumen el ambiente en los que se desarrolla el proceso, se determinan las fallas a las que puedan estar expuestos y los riesgos que se corren durante la ejecución de las tareas de lavado. Dentro de la entrevista realizada, este es uno de los puntos más importantes, ya que acá se tiene una idea mucho más generalizada de lo que los usuarios quieren para su sistema final, moldeando las ideas en base a sus necesidades. Como se ha mencionado anteriormente, este es un proyecto de carácter multidisciplinar que involucra diversas áreas, pero en este caso, el objeto de estudio está orientado a la implementación de sistemas electrónicos de control que mejoren las tareas ejecutadas dentro de la planta.

En base a los resultados arrojados por las entrevistas realizadas al personal de INDUSALCA y teniendo en cuenta las observaciones

realizadas durante la visita a la planta, se llegó a la siguiente conclusión: para el mejorar el funcionamiento del proceso y evitar paradas totales de la planta, es recomendable el diseño o implementación de un sistema que separe el producto base (la sal) de los cuerpos extraños que la degradan, como objetos metálicas basura. Lo anterior es importante debido a que cada vez que una de estas fracciones de metal llega a los motores, le acortan su vida útil, disminuyendo rápidamente su productividad e impidiendo que la sal recorra el proceso óptimamente.

Indispensable el diseño e implementación de un sistemas de control y alarma que hagan mucho más seguro el desarrollo del proceso y garantice el cuidado integral de las personas que influyen directamente en este. Este garantizara que todo funcione como debiera y que en caso de fallas se tomen las medidas exactamente necesarias, ahorrando así el tiempo que desperdicia en revisiones visuales realizadas por un operario que trata de buscas las fallas pero ocupa mucho más tiempo (vital en caso de emergencias) en localizar el lugar exacto donde se presenta la falla.

Otro sistema muy importante y necesario para el buen desarrollo del proceso, es la implementación de un sistema electromecánico que controle el giro del stacker por medio de un motor acoplado por piñones a la estructura, el cual será controlado por un operario que decidirá el lugar exacto en el cual quiere que se deposite el producto lavado.

10. DISEÑO DE INGENIERÍA

10.1. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE INGENIERÍA

10.1.1. Modelado del negocio

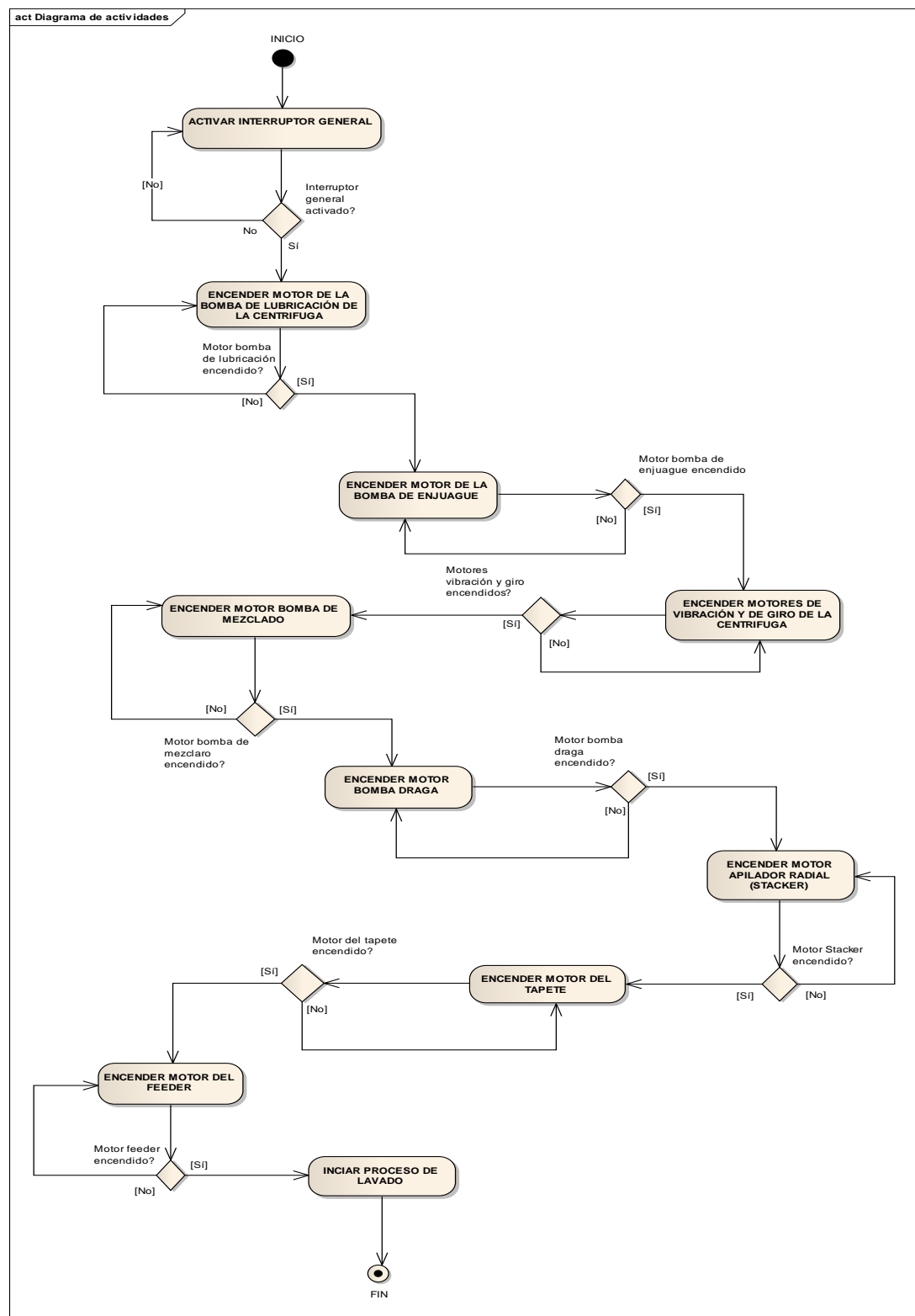
El modelado del negocio no es más que la forma en cómo se ejecutan las tareas dentro de cierto proceso, por lo general guiado por una serie de pasos que llevan a un fin determinado, este modelado, por lo general es un relato de tipo escrito, en donde se describe de manera detallada como es ejecutado un proceso. Para esta investigación, los autores realizaron una visita a las instalaciones de INDUSALCA Ltda., para obtener una visión más clara del estado de las actividades que a diario se realizan durante la ejecución del proceso de lavado de sal. El escrito redactado en base a la observación del proceso para el lavado de sal es el siguiente:

El operario, se encarga de activar mediante un juego de pulsadores ubicados en el panel de mando, cada uno de los elementos que actúan dentro del proceso de lavado. Primero el operario, hace activar mediante el accionamiento de un pulsador la bomba del depósito de aceite de centrifugadora, el cual encenderá la centrifugadora, y se encargará de la lubricación las partes móviles que componen el cesto, el mismo operario después de activar esto procederá a activar la bomba de abastecimiento de salmuera, que será la responsable de llevar la solución salmuera hacia la tolva contenedora de sal sucia, seguidamente se procede a activar la bomba distribución sal-salmuera que es la encargada de llevar

la mezcla de sal y salmuera hacia la torre de lavado a través de la tubería, después de esto el operario hace activar la bomba de enjuague, que es la encargada de retirar el exceso de suciedad de la sal que baja y cae por la tubería hacia la torre de lavado mediante los aspersores que disparan flujos constantes de salmuera, entrando en la parte final del proceso, el operario hace encender el tapete, el cual es un tipo de banda transportadora, en la cual va a caer la sal que pasa por la etapa de centrifugado, etapa en la cual se retira el exceso de salmuera del producto final, luego se procede a activar el stacker o apilador de sal, en el cual la sal limpia llega y es transportada hacia el lugar de depósito final, para finalizar el proceso de preparación para el lavado de sal, el operario hace encender el vibrador que está en el interior del cesto de la centrifugadora de sal el cual ejecuta la tarea de evitar que la sal se pegue a las paredes del cesto de la centrifugadora, y finalmente inicia el proceso de lavado, alimentando de, permitiendo el paso de sal hacia la bomba de distribución sal-salmuera que está en la base de la tolva para que esta impulse la mezcla hacia la torre de lavado y ejecute los proceso que previamente fueron descritos.

El texto debe ser claro y libre de ambigüedades, con el fin de que los desarrolladores, entiendan la dinámica y organización del cliente. Este texto, se apoyó un diagrama de actividades, que no es más un diagrama de flujo que nos permite ver la dinámica de un sistema (ver Figura 10.1), en el cual se destacan las actividades llevadas a cabo por el operario con el fin de ejecutar de una manera satisfactoria el proceso.

Figura 10.1. Diagrama de actividades de la secuencia de arranque



10.1.2. Modelado del dominio

En el modelado del dominio se asocian las clases existentes dentro del sistema y cómo se relacionan entre ellas. Este modelado no es más que un glosario de todas las clases que conforman el sistema, pero la definición que se le da a estos términos, no es más que una breve descripción del rol que cumple cada uno dentro del proceso, los nombres de cada uno de los términos deben ser escritos de la misma manera en la que el cliente se refiere a ellos, con el fin de evitar ambigüedades.

A continuación se detalla en modelado del dominio para el proceso de lavado de sal.

1. **Aspersores (flautas) de salmuera:** dispositivos empleados para regar la sal que baja por el tamizado con solución salmuera. Relación con la etapa de filtrado, ésta provee rocío de salmuera a presión, esta ayuda a separar las impurezas de la sal. Relación con canales de desagüe, Los residuos que no pasan a través del tamiz, el agua a presión los remueve y los envía a los canales de desagüe.
2. **Bomba de enjuague:** es una bomba que está ubicada en los depósitos de salmuera, la cual lleva la solución hacia la torre de lavado y es distribuida por medio de los aspersores para que retire el exceso de suciedad que llega a través de la tubería y baja por los escurridores ubicados en dicha torre. Relación con los aspersores (flautas) de salmuera.

3. **Bomba del depósito de aceite de centrifugadora:** encargada para la distribución de aceite en la etapa de centrifugado y evitar el del desgaste acelerado de las piezas móviles. Relación con la centrifugadora, lubrica las partes móviles que conforman la centrifugadora.
4. **Bomba distribución mezcla sal-salmuera:** es la encargada de mover la solución de sal-salmuera a presión. Relación con la bomba de abastecimiento de salmuera, esta alimenta la bomba draga con la solución salmuera para mezclarla con la sal sucia. Relación con tubería de ascensión mezcla sal-salmuera, por medio de esta se desplaza la mezcla sal-salmuera hacia la etapa de filtrado.
5. **Bombas de riego del terreno:** se utiliza para regar salmuera cerca de los depósitos de sal. Relación con los depósitos de sal sucia y los depósitos de salmuera el riego del terreno se hace en aproximaciones de la pilas de sal sucia, con el fin de evitar que las fuertes brisas hagan que la sal se mezcle con la tierra y/o el polvo.
6. **Camiones repartidores:** Vehículos encargados de llevar la sal empacada en sacos a donde el cliente final. Relación con coterros, Estos están encargados de cargar los camiones repartidores con la sal empacada en sacos.
7. **Canales de desagüe de salmuera:** es la tubería destinada para devolver el exceso de salmuera hacia los depósitos, luego de pasar por el proceso de centrifugado de sal. Relación con la centrifugadora de sal, la solución de salmuera que es extraída del

proceso de secado, viaja a través de la tubería a los depósitos para ser reutilizada.

8. **Centrifugadora de sal:** es el lugar donde llega la sal después de pasar por la etapa de filtrado, es la encargada de secar el material a apilar, en este caso la sal. Relación con banda transportadora, Luego de separar el exceso de agua de la sal, esta pasa a la banda transportadora. Relación con canales de desagüe de salmuera, los residuos demasiado grandes y que no pasan por el tamiz quedan en la parte superior, esperando para ser removidos por los aspersores.
9. **Coterros:** personas encargadas de cargar los sacos de llenos de sal, y llevarlos a los camiones distribuidores. Relación con empacadores, estos llenan los sacos, que los coterros llevan a los camiones.
10. **Depósito de sal limpia:** Lugar donde se acumula la sal después de pasar por el proceso de lavado. Relación con el stacker, por medio de la ubicación del stacker se puede decidir la ubicación en donde será apilada la sal después ser lavada.
11. **Depósito de salmuera:** Depósito en el cual se mantendrá un abastecimiento constante de la solución salmuera. Relación con bomba distribuidora de salmuera, estos depósitos contienen las reservas de solución salmuera para el proceso de lavado.
12. **Depósitos de sal sucia:** Lugar donde se encuentra la sal antes de iniciar el proceso de lavado.

13. **Empacadores de sal:** Personas encargadas de empacar la sal en sacos. Relación con la tolva de empacadores, éstos son los encargados de la dosificación de la sal en cada uno de los costales.
14. **Escurridores (tamizado):** Es utilizado para dejar pasar la sal en pequeñas partículas, y las partículas de mayor tamaño quedan retenidas. Relación con canales de desagüe, los residuos demasiado grandes y que no pasan por el tamiz quedan en la parte superior, esperando para ser removidos por los aspersores.
15. **Etapas de filtrado:** En esta etapa se separa el producto útil de impurezas, cuerpos extraños y rocas de sal demasiado grandes. Relación con aspersores (flautas) de salmuera, estos rocían salmuera a presión sobre la mezcla sal-salmuera que entra a esta etapa. Relación con red de tamizado, esta discrimina la suciedad en el producto que sea de mayor tamaño que los orificios de la red. Relación con centrifugadora, luego de que la mezcla sal-salmuera pasa por esta etapa, sigue al centrifugado.
16. **Molino de tolva contenedora sal sucia (feeder):** molino ubicado en la base de la tolva contenedora de sal sucia, y el cual es el encargado de reducir la sal a pequeñas partículas para el lavado. Relación tolva contenedora de sal sucia.
17. **Operador de tablero eléctrico:** persona encargada de accionar cada uno de los interruptores (pulsadores) que activan cada una de las bombas que intervienen en el proceso de lavado de sal. Relación con tablero eléctrico.

18. **Operario de recogedora:** Persona encargada de alimentar la tolva mediante el transporte de sal sucia. Relación con la recogedora, esta persona es la encargada operarla, de recoger y depositar la sal en las diversas tolvas (contenedora de sal sucia y de empacadores).
19. **Recogedora de sal:** Vehículo pesado con el cual se transporta la sal. Relación con los depósitos de sal sucia y con el apilamiento de sal limpia, en ella se transporta la sal que va a ser depositada en cada una de las tolvas.
20. **Rieles de desplazamiento para stacker:** Riel sobre el cual se desplazara el stacker. Relación con el stacker, es el medio el cual facilita el desplazamiento del apilador de un lado a otro para cuando se finalice el proceso de lavado de la sal.
21. **Sal:** esta es la base del proceso a realizar y está relacionada con todo el proceso ya que lo recorre de principio a fin.
22. **Stacker (apilador):** el stacker la maquina encargada de llevar la sal hacia su destino final Un apilador es una máquina usa en aplicaciones de manejo de carga de material. La función del apilador, es apilar material, en este caso la sal previamente lavada. Relación con la recogedora, es usada para recolectar el mineral. Relación con el depósito de sal limpia, después de escoger el lugar donde se hacinará el mineral, ésta será vertida dependiendo de la cantidad de sal lavada. Relación con rieles de giro para stacker, desplazar sobre el riel el stacker para escoger el lugar de apilamiento. Relación con motor para desplazar el stacker, este es el encargado de mover el stacker sobre el riel.

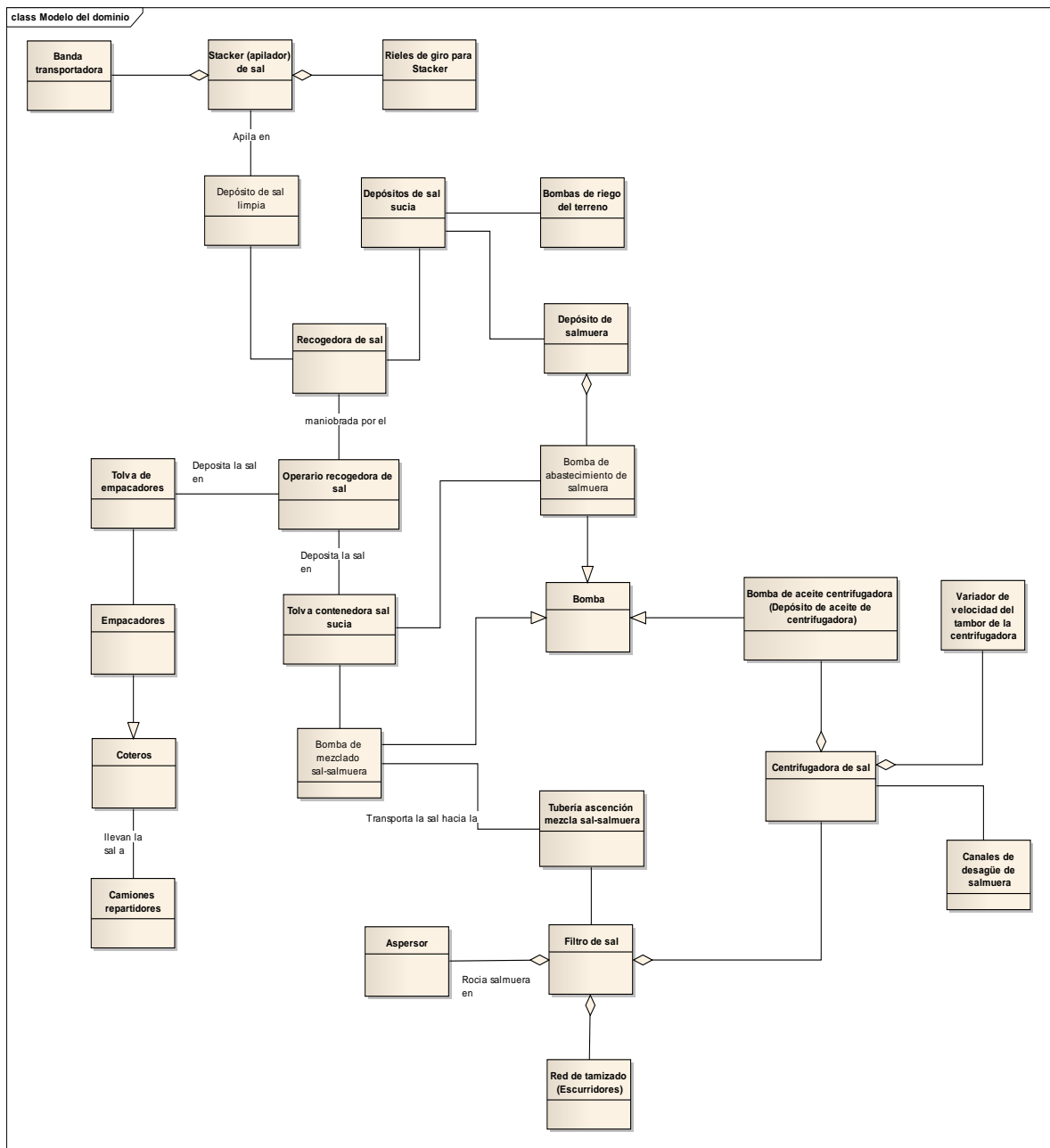
23. **Tablero eléctrico:** panel de mando en el cual se alojan los distintos pulsadores (interruptores) que son accionados para iniciar el proceso de lavado. Relación con operador de tablero eléctrico.
24. **Tapete:** banda transportadora ubicada debajo del cesto de la centrifugadora, en la cual el producto final llega y mediante la activación de los motores que mueven dicha banda, lleva la sal limpia hacia el stacker para su posterior apilamiento. Relación con stacker.
25. **Tolva contenedora de sal sucia:** En esta caja, en forma de cono y abierta por debajo, se deposita la sal, para que caiga en pequeñas o grandes cantidades. Relación con operario de recogedora, dicha tolva recibe la sal sucia que el operario deposita en ella. Relación con la bomba de abastecimiento de salmuera y bomba de mezclado sal-salmuera, a la base de la tolva contenedora de sal sucia, entra la solución de salmuera. La sal es triturada y mezclada con la solución salmuera, para ser llevada mediante la bomba de mezclado hacia la tubería que lleva la mezcla de sal-salmuera a la torre encargada del filtrado y lavado de sal.
26. **Tolva de empacadores de sal:** es la segunda caja en forma de cono, que es la encargada de recibir la sal que previamente ha sido lavada, y la cual está lista para su distribución. Relación con apilamiento de sal limpia, recogedora y operario recogedora, el operario encargado de manejar la

recogedora, irá hasta el lugar de apilamiento, y la transportará hasta esta tolva.

27. **Tubería de ascensión de mezcla sal-salmuera:** Tubo metálico por el cual se desplaza la mezcla sal-salmuera. Relación con la etapa de filtrado, la mezcla que se desplaza por la tubería de ascensión desemboca en la entrada de la etapa de filtrado.
28. **Variador de velocidad del tambor de la centrifugadora:** determina qué tan seca o húmeda llega la sal hasta la banda transportadora después que ha pasado por la etapa de centrifugado. Relación con la centrifugadora, controla la velocidad a la cual el tambor gira.
29. **Vibrador:** hace parte de la centrifugadora de sal, es el encargado de evitar que la sal se pegue a las paredes del cesto. Relación con la centrifugadora de sal, mediante movimientos vibratorios, despega la sal que pueda llegar a adherirse a las paredes del cesto centrifugador.

Al igual que en modelado del negocio hay un diagrama de actividades que nos permite observar la dinámica del sistema, en el modelado del dominio hay un diagrama denominado diagrama de clases, en él, se muestran las clases y las relaciones existentes entre ellas, se utiliza para modelar la vista estática de un sistema (véase Figura 10.2).

Figura 10.2. Diagrama de clases lavado de sal.



10.1.3. Requisitos

Los requisitos, no son más que las funciones mínimas con las que tiene que contar el sistema para que ejecute cierta actividad o proceso, estos requisitos por lo general son capturados por los desarrolladores a través del cliente por medio de métodos de recopilación de datos tales como entrevistas o cuestionarios que aporta información de carácter valioso al desarrollo de los sistemas.

Una forma efectiva de gestionar los requisitos es a través una técnica denominada Casos de Uso, la cual proporciona un escenario sobre cómo interactúan los usuarios con el sistema; el sistema con los usuarios o con otros sistemas, para lograr su cometido. El desarrollo de los casos de uso se lleva a cabo mediante el análisis de los requisitos del cliente y con base en el modelado del negocio, utilizando un lenguaje controlado (modelo del dominio) en el que se describe de forma clara y detallada los procesos del sistema a ser implementado.

Los requisitos son divididos en funcionales y no funcionales. Los requisitos funcionales son aquellos que el cliente considera vitales para la buena ejecución de un sistema, mientras que los no funcionales, son aquellos que si bien no son tan importantes como los primeros, le otorgan un valor agregado al sistema.

En base a esto, se realizó una entrevista al personal encargado de la empresa INDUSALCA Ltda., con el fin de capturar dichos requisitos y así poder empezar con el posterior análisis de los datos obtenidos en éstas

para darle solución a la problemática planteada. La transcripción de las entrevistas se puede encontrar en los anexos A y B.

Los requisitos detectados a través de las entrevistas fueron los siguientes:

10.1.3.1. Requisitos funcionales

- Aspersores para humedecer la tierra: Esto para que la tierra no se levante (En época de ventiscas) y ensucie la sal almacenada.
- Control centrifugadora: Control para el tiempo de centrifugado y la velocidad del motor eléctrico encargado de brindarle movilidad al cesto de la centrifugadora. Tiene un tiempo de trabajo de entre 8 y 10 horas (Por día).
- Control para el movimiento del stacker: Sistema que permita mover el stacker de izquierda a derecha, dependiendo del lugar en el que se vaya a realizar el apilamiento de la sal. Esto para, escoger el lugar en el que se depositará la sal lavada.
- Control para el rodamiento de la banda transportadora: Activar los motores que harán girar a los rodillos cuando finalice el proceso de centrifugado, con el objetivo de que la banda transportadora conduzca a la sal al lugar de apilamiento. Para que los motores de esta no estén encendidos todo el tiempo y así ahorrar de energía.

- Controlador del orden de encendido de la planta: Esto para garantizar que la planta tendrá un encendido adecuado y no habrá variaciones en tiempos de encendido de las maquinarias que componen el proceso. Orden de encendido (1. Encendido de la bomba de aceite 2. Encendido de bomba de mezclado 3. Luego de aproximadamente 20 segundos se enciende la bomba de draga 4. Encendido de la bomba de enjuague 5. Encendido de la banda transportadora (Tapete) 6. Apilador (Stacker) 7. Encendido de la centrifugadora (Cesto) y por último se alimenta el proceso con sal sucia).
- Encendido de las bombas de salmuera: Controlar la distribución de la solución salmuera, que va hacia la bomba draga y torre de filtrado. Esta se enciende al comenzar el proceso, para esto se utilizan 2 moto bombas que impulsan la solución salmuera, estas bombas trabajan con 220v CA, estas mantiene un flujo constante de 8 a 10 horas (por día), esta solo presenta paradas en casos de emergencia en los cuales se deba detener por completo el proceso de lavado de sal.

Esta se enciende al iniciar el proceso y se mantiene encendida durante el tiempo que este activo el proceso.

10.1.3.2. Requisitos no funcionales

- Rejillas de filtrado en la tolva: Implementar una rejilla metálica imantada que retenga las partículas metálicas que lleguen

mezcladas con la sal. Esto para proteger los equipos y tener un producto más limpio.

- Alarma de ausencia de flujo de salmuera a la entrada de la bomba draga y etapa de filtrado: Se utilizaran sensores de flujo adecuados para trabajar en lugares de alta salinidad. Esto para asegura de que no se detenga el flujo de la solución salmuera. En caso de detenerse el flujo de salmuera se hará una parada de emergencia seguida de una alarma visual o auditiva que indique donde se presentó la falla (Esto es un valor agregado que dependerá de la empresa si se implementa o no).
- Alarma de flujo de sal-salmuera a la entrada de la etapa de filtrado: Se utilizaran sensores de flujo adecuados para trabajar en lugares de alta salinidad. Esto para asegura de que no se detenga el flujo de la mezcla sal-salmuera. En caso de detenerse el flujo de la mezcla sal-salmuera se hará una parada de emergencia seguida de una alarma visual o auditiva que indique donde se presentó la falla. Esto para asegura de que no se detenga el flujo de la mezcla sal-salmuera (Esto es un valor agregado que dependerá de la empresa si se implementa o no).
- Sensores de niveles de salmuera: Esto para asegurar de que siempre haya salmuera suficiente para realizar el proceso adecuadamente. Para esto se utilizaran sensores capacitivos adecuados para trabajar en condiciones de alta salinidad. Cada 50 toneladas lavadas hay que desechar por lo menos la mitad de la salmuera existente y renovar lo desechado con agua de mar nueva.

- Sistema de control y aviso de fallas: En caso de fallas detendrá el proceso, generara señales visuales y auditivas que indicaran al encargado del proceso, el lugar exacto donde se presenta la falla.

Como se ha venido mencionando, en el desarrollo del siguiente proyecto se hizo una aproximación a los procesos de desarrollo dirigidos a software, pero enfocado hacia la parte de hardware. En esta etapa del proyecto se hizo especial énfasis en los datos obtenidos en las entrevistas, ya que éstos fueron la base de la estructuración de la arquitectura y las posibles soluciones a implementar, durante el análisis de los datos, los autores se encontraron con la parte de los controladores lógicos programables, dispositivos de los que se habló con anterioridad y la forma en cómo éstos serían implementados en la solución de la problemática presentada.

Basándose en las entrevistas realizadas al personal encargado de la operación y dirección de la empresa procesadora de sal INDUSALCA Ltda., en donde los datos obtenidos a partir del relato de manera abierta por parte del personal, se llegó a comprender el proceso y la importancia del trabajo resultante entre la interacción del hombre con la maquinaria, se evaluó la mejor manera de resolver la problemática planteada descrita en el desarrollo de la investigación, encontrándose que debido a los procesos ejecutados dentro de la planta, sería mejor una división de cada una de las tareas llevadas a cabo, con el fin de ordenar de una mejor manera lo que actualmente se viene realizando, con el fin de hacer de la ejecución del proceso una labor más sencilla.

Reiteramos que la estructuración del proyecto se realizó mediante el uso del lenguaje unificado de modelado, que si bien es una herramienta propiamente dirigida al desarrollo de software, los autores de la

siguiente investigación encontraron que muchos de las directrices que allí se plantean pudieron ser llevadas al ámbito físico, es decir el hardware; con esta herramienta se organizó de una mejor manera el proyecto, ya que éste se pudo separar en la parte del proceso enfocada al del negocio, que es aquella que envuelve todo lo relacionado con el proceso de lavado de sal, hasta la obtención del producto final y la parte del sistema, la cual envuelve todo aquello que tiene que ver con el comportamiento de cada uno de los motores, bombas, etc., que integran todo el proceso y que son vitales para la correcta ejecución de éste.

En dicha estructuración, los investigadores se enfocaron principalmente a desarrollo del proyecto dirigido al sistema, en la cual los datos obtenidos en la entrevista, sirvieron para capturar algo que se denominó como requisitos funcionales del sistema, que son aquellos en los cuales los usuarios afectados expresaron lo que ellos consideraron una mejora para las tareas ejecutadas dentro del proceso.

Como principal solución, los investigadores llegaron a la conclusión que para la empresa INDUSALCA Ltda., es necesario implementar soluciones inteligentes para solucionar problemas existentes en el proceso.

Sería necesario para mejorar el funcionamiento del proceso y evitar paradas totales del planta, la implementación de un sistema que separe el producto base (La sal) de los cuerpos extraños que degradan la sal y cada vez que una pieza metálica llega hasta los motores acorta el tiempo de vida útil de estos, disminuyendo rápidamente su productividad e impidiendo que la sal recorra el proceso óptimamente.

Indispensable el diseño de un sistemas de control y alarma que hagan mucho más seguro el desarrollo del proceso y garantice el cuidado integral de las personas que intervienen directamente en este. Este garantizara que todo funcione como debiera y que en caso de fallas se tomen las medidas necesarias, ahorrando tiempo que desperdicia en revisiones visuales realizadas por un operario que trata de buscar las fallas (vital en caso de emergencias) en localizar el lugar exacto donde se presenta la falla.

Se detectó que el sub-sistema del stacker es susceptible de ser automatizado, encontrando grandes beneficios con ello. Para lograr esto se propone un sistema electro-mecánico que controle el giro del stacker por medio de un motor acoplado por piñones a la estructura, el cual será controlado por un operario que decidirá el lugar exacto en el cual quiere que se deposite el producto lavado.

Cabe destacar que para estas soluciones, la implementación más adecuada sería mediante Controladores Lógicos Programables (PLC), ya que este dispositivo ayudaría de una manera más óptima a distribuir los tiempos de arranque, parada, gestión de fallos y alarmas para cada una de las tareas llevadas a cabo dentro de la empresa, con un menor desgaste de energía y de materia prima vital para el buena ejecución de los procesos de manufactura dentro de la empresa.

A continuación, se listan los resultados obtenidos durante la investigación realizada, en los cuales se plasman las posibles soluciones del diseño de la automatización del proceso del lavado de sal.

10.2. FUNCIONALIDADES DEL AUTÓMATA

El autómata está encargado principalmente del control del proceso (Encendido y apagado de los motores principales) y del proceso paralelo Ubicación del stacker (Apilador radial). Esto se logra a través de un software diseñado para resolver las necesidades específicas de la empresa INDUSALCA LTDA., en el proceso de lavado de sal marina.

10.2.1. Proceso Principal

Figura 10.3. Accionamiento cerradura de seguridad O+I



Imagen tomada de:

<https://eb.automation.siemens.com/goos/Catalog/Pages/ProductData.aspx?tree=CatalogTree®ion=ie&nodeid=8220221&language=es®ionUrl=/&activetab=order#activetab=order&>

El proceso inicia cuando el operario encargado inserta una llave maestra que se gira hacia la derecha, alimentando los motores que conforman el proceso, en el siguiente orden de encendido (con una separación de tiempo entre el encendido de cada motor):

1. Motor de la bomba de lubricación de la centrifuga (5 segundos para el encendido del siguiente motor).

2. Motor de la bomba de enjuague (5 segundos para el encendido del siguiente motor).
3. Motores de vibración y giro de la centrifuga (se encienden al mismo tiempo "pero con señales diferentes") (5 segundos para el encendido del siguiente motor).
4. Motor de la bomba de mezclado (20 segundos para el encendido del siguiente motor).
5. Motor de la bomba de la bomba draga (5 segundos para el encendido del siguiente motor).
6. Motor del apilador radial (5 segundos para el encendido del siguiente motor).
7. Motor del tapete (5 segundos para el encendido del siguiente motor).
8. Motor del feeder.

Y con este paso todos los motores que conforman el proceso quedan encendidos.

El apagado de la planta también es controlado por el autómatas, este corta la alimentación de los motores en orden contrario al de encendido pero manteniendo la separación de tiempos entre acciones (El último en encenderse es el primero en apagarse (Arranque LIFO)) véase ANEXO G.

10.2.2. Procesos paralelos

Son los procesos ejecutados durante el proceso del lavado de la sal, éstos son ejecutados por parte del operario en la etapa de limpieza de la sal y tienen como objetivo controlar la forma en cómo se ejecutan determinadas acciones, entre los principales procesos durante la etapa de lavado se encuentran:

Ubicación del stacker: Este proceso también es controlado por el autómatas mediante las interfaces de comunicación, que en este caso serán dos botones tipo flechas (una hacia la derecha y otra hacia la izquierda) con los cuales el operario elegirá el lugar exacto donde quiere ubicar el stacker para depositar la sal limpia.

Condiciones de seguridad: Cuando el stacker llega al final del riel (izquierdo o derecho) el respectivo botón se desactiva y evita que el motor se trabaje forzado. Limitando el giro al sentido contrario al final del riel en que se encuentra.

10.2.3. Pruebas

Durante la etapa de pruebas, se realizaron montajes sobre el PLC S7-200 de Siemens, donde se creó la primera versión del software que será el encargado del control de la planta, mediante la temporización de cada uno de los motores implicados en el proceso de lavado de sal.

La ejecución de las pruebas, se hizo de manera estructurada, es decir que el proceso de lavado de sal fue separado de tal forma que para cada

actividad, se hizo un programa con el fin de que cumpliera con las tareas para las cuales se diseñó.

Para la ejecución de las pruebas se tuvo en cuenta el previo diseño del nuevo sistema a implementar y que están especificados en el diagrama de actividades de la Figura 10.1, en donde se muestra la secuencia de arranque de los motores con el nuevo sistema.

De igual manera, se diseñó un programa que controle el giro del Stacker en el cual el operario tiene el control del lugar en el cual hará el depósito del producto final.

Como parte final de la etapa de pruebas, se integraron de manera conjunta los programas y almacenarlos en uno solo, con las respectivas entradas y salidas que hacen parte de la programación del dispositivo. En la Tabla 10.1 se muestran las entradas y salidas que fueron usadas en el dispositivo controlador.

10.2.4. Listado de las entradas y salidas

A continuación, se listan todas las entradas y salidas utilizadas para la programación del controlador que llevará a cabo las tareas designadas en el proceso de lavado de sal.

Tabla 10.1. Listado de entradas y salidas utilizadas en la programación del controlador

| Entradas | Descripción | Salidas | Descripción |
|-----------------|--|----------------|--|
| I0.0 | Interruptor general del sistema, el operario mediante una llave maestra da inicio al proceso. | Q0.0 | Salida para inversión de giro a la izquierda del Stacker. |
| I0.1 | Interruptor/pulsador de parada de emergencia. | Q0.1 | Salida para inversión de giro a la derecha del Stacker. |
| I0.2 | Pulsador de giro a la izquierda. | Q0.2 | Encendido de motor bomba de lubricación de la centrifuga. |
| I0.3 | Pulsador de giro a la derecha | Q0.3 | Encendido de motor de la bomba enjuague. |
| I0.4 | Final de carrera giro izquierda. Este final de carrera detecta el final de la trayectoria del Stacker. | Q0.4 | Encendido de motor de vibración. Motor que conforma el cesto de la centrifugadora, cuya función es evitar que la sal se adhiera a las paredes del cesto. |
| I0.5 | Final de carrera giro derecha. Este final de carrera detecta el final de la trayectoria del Stacker. | Q0.5 | Encendido de motor de giro de la centrifuga. |
| I0.6 | Parada de emergencia. | Q0.6 | Bomba de mezclado. Lleva la solución salmuera hacia la base de la tolva contenedora de sal sucia. |
| | | Q0.7 | Encendido del motor de la Bomba draga. |
| | | Q1.0 | Encendido de motor del apilador radial (Stacker). |
| | | Q1.1 | Encendido de motor del tapete. |
| | | Q1.2 | Encendido del motor del Feeder. Motor que se encuentra en la base de la tolva contenedora de sal, que se encarga de triturar la sal y |

| Entradas | Descripción | Salidas | Descripción |
|-----------------|--------------------|----------------|---|
| | | | pasarla hacia la mezcladora para luego enviarla a la torre de lavado. |

11. CONCLUSIONES

La electrónica es un área exigente, demanda de tiempo y pasión. La automatización y control es una parte de ella y requiere de mayores compromisos. Por consiguiente, realizar investigaciones enfocadas a ellas constituye un objetivo veraz, cuya motivación es solucionar problemas complejos maximizando la productividad del proceso que necesite su aplicación.

El diseño propuesto en la siguiente investigación, garantiza una correcta ejecución en los tiempos de lavado, detección de fallos y sobre todo de una correcta administración de los recursos disponibles en la ejecución del proceso de lavado de sal, cumpliendo de esta manera el objetivo principal de la investigación, el cual consistía en la identificación del proceso de lavado de sal llevado a cabo en la empresa INDUSALCA Ltda., con el fin de adelantar estudios para la automatización de dicho proceso. Es de esperarse que la calidad y la cantidad de producción salina aumenten, debido a que el sistema provee una mejor administración de los recursos.

Dentro de los objetivos planteados en la investigación, se encuentra la funcionalidad del sistemas, en donde los clientes participaron como actores principales, ya que fueron ellos las personas encargadas de transmitir de manera detallada las necesidades que presentaba la empresa en cuanto a la ejecución de los procesos previos a la ejecución del proceso de lavado de sal y en base a estas necesidades, empezar a construir el sistemas, detallando las funciones principales a ejecutar por el controlador como elemento principal de control.

Al comienzo se describió el estado actual de los equipos, ya que su infraestructura databa de unas tres décadas aproximadamente y que debido a la alta salinidad del ambiente, el deterioro era más que evidente, por esta razón el sistema de control a utilizar debía ser robusto ya que el ambiente sobre el cual estaría trabajando presenta condiciones extremas, en cuanto a la salinidad y aridez del terreno.

El diseño de este sistema de lavado, puede ser aplicado al interior de cualquier empresa que cuente con los equipos, herramientas y sobre todo la mano de obra calificada; sin embargo en la empresa en la que se centra el estudio de la implementación del diseño afrontó una serie de eventos que impidieron llevar a cabo dicha acción, entre los cuales se encontraban que la planta era de tipo provisional, es decir, sólo supe las necesidades de extracción de sal, por lo que los directivos de la empresa decidieron no realizar inversión alguna en la mejora tecnológica de dicha planta, debido a que la operatividad de la planta era transitoria.

Al tratarse un trabajo de campo, en el cual las condiciones en la que se ejecuta el proyecto es de un ambiente exigente en donde la salinidad, las altas temperaturas y lo seco del terreno son factores que influyen de manera directa sobre el buen funcionamiento de los dispositivos, fue necesario basar el estudio en dispositivos que fueran en cierta forma resistentes a las condiciones extremas a las que serían sometidos; elevando de una manera considerable los costos de la implementación del sistema en general. Asimismo, la inversión generada por la implementación contrastaría con los beneficios ofrecidos por éste, ya que los recursos, tiempos de ejecución y la gestión en cuanto a los

sistemas de seguridad y detección de fallas serían administrados de una mejor manera.

De igual manera, con una futura y posible entrada en funcionamiento de un sistema como éste, no sólo se estaría aportando al desarrollo y competitividad de la planta, sino que al ser una aplicada una nueva tecnología, se estaría brindando la oportunidad de capacitar al personal propio de la región de La Guajira con el uso de nuevas tecnologías, aportando de esta manera a reducir la brecha tecnológica presentada en esta región del país.

ANEXO A⁴. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA EDWIN PAVÓN

1. Perfil del usuario o afectado

Nombre: EDWIN ENRIQUE PAVON

Compañía: INDUSALCALTDA

Puesto: OPERADOS DE CONTROLES

¿Cuáles son sus principales responsabilidades?

Manejo total de la planta.

¿Cuán exitoso cree usted que es su trabajo?

100%.

¿Qué problemas interfieren con el buen desarrollo en su trabajo?

Ninguno.

⁴ La información contenida en este anexo, sirvió de apoyo para el desarrollo del proyecto, ya que con base a ésta se recopiló gran parte de las necesidades y requisitos, mediante la aplicación de una entrevista a los usuarios que interactuaban de manera directa con la problemática planteada en la presente investigación, logrando así la escogencia de la solución más adecuada.

2. Evaluando el problema

¿Hay actualmente problemas que usted no pueda solucionar?

Hasta el momento no. Pero si se presentara el caso, se llamaría al ingeniero encargado, Ubicado en Uribia.

¿Qué equipos fallan más?

Hasta el momento ninguno de los equipos que componen el proceso como tal, han presentado fallas relevantes. Por lo tanto podemos afirmar que, ningún equipo falla.

¿Por qué cree usted que se presenta el problema?

Las fallas que se presentan muy seguidamente son debido a problemas externos, cuerpos extraños como elementos metálicos, plásticos, cartones, etc. Que lleguen al proceso mezclado con la sal.

¿Cómo lo resuelve?

Se detiene la alimentación y se revisa la Bomba Draga, para proceder a la extracción del cuerpo extraño. El tiempo que toma solucionar este tipo de problemas toma aproximadamente 45 minutos a una hora.

¿Cómo le gustaría que se resolvieran?

Implementando una rejilla imantada que detenga el paso de cuerpos extraños (Metálicos y elementos plásticos grandes) ya que estos son los que detienen el proceso, (Las bolsa plásticas culminan el proceso junto

con la sal, estos cuerpos extraños son extraídos luego de inspecciones visuales, pero no detiene el proceso).

¿Qué problemas cree usted que son susceptibles a mejoras?

Lo anteriormente mencionado, implementar un sistema que elimine los cuerpos extraños que lleguen con la sal.

¿Qué equipos gastan más energía?

Lo que más consume energía es el Motor Cesto, Bomba Draga, Enjuague y Mezclado.

¿Hay equipos que trabajen a más capacidad de la necesaria?

Los equipos fueron escogidos para trabajar un poco por debajo de su máxima capacidad, esto se hizo esperando un futuro crecimiento en la producción.

¿Qué tipo de actuadores usan y con qué señales se activan?

Solo se manejan motores eléctricos que se activan con conmutación tipo ON/OFF donde se manejan 440v AC.

3. Evaluando y entendiendo el ambiente del usuario

¿En qué parte del proceso se presenta más peligro para el operario?

En general el proceso no es riesgoso.

¿Qué se cree usted que se puede mejorar en las interfaces de usuario? (Borneras y tablero de control).

Mejorar marca a los 'Breakers' se trabaja con unos de baja calidad pero funcionan bien.

¿Describa cada parte del tablero de control, en qué momento se utiliza y como modifica el proceso? ¿Cómo controlan el proceso en caso de fallas, que señales de aviso manejan, en qué momento se encienden y métodos de contingencia?

No hay sistema de alarmas, si hay falla ("subida de electricidad, recalentamiento") se desconecta el sistema. El sistema de seguridad es un botón de apagado general.

¿Qué eventos anormales o poco comunes han ocurrido y como lo controlan?

No se han presentado eventos anormales.

¿Qué variables se manejan dentro del proceso (Tipos, rangos, valores deseados, tipos de sensores, cuales miden y cuales desearían medir)?

El nivel de sal es controlado por una persona que da la orden de cuanto producto se lavara (más toneladas, menos toneladas), dosificadas por una recogedora de sal directo al punto de alimentación. Solo se cuenta con una válvula de 6" que gradúa presión de bomba (manual).

El rango de salmuera es de 24 grados de salinidad, por más de ese valor no se trabaja por temor a cristalización de los equipos. Todo es manual. Control de nivel de salmuera es diario y manual.

La única relación de medida que se maneja es nivel de salmuera y tonelada sal.

Niveles de sal por medida (por cada 500 toneladas se usan 2000cm³. Eso es lo q se almacena en los depósitos).

Feeder trabaja con 55 toneladas mínimo, impulsa la Bomba Draga.

¿Cómo manejan los procesos paralelos (Riego del terreno en época seca)?

El sistema de riego es manual y se hace con salmuera. Los residuos de salmuera se recogen en la Bomba Draga y se mandan a la playa.

4. Resumen para validar el entendimiento del problema

Inicia con la Bomba de aceite, se dosifica por medio del cargador (alimentación), luego el Cebado Bomba de Mezclado y Enjuague, Cesto, vibrador, Tapete, Stacker y da inicio. 10 minutos de funcionamiento antes de dosificar la sal.

Para mejorar: Mejorar lo de la falla de energía.

ANEXO B⁵. TRANSCRIPCIÓN ENTREVISTA NELSON ORTEGA

1. Perfil del usuario o afectado

Nombre: Nelson Ortega Blanco.

Compañía: INDUSALCA LTDA.

Puesto: Director de planta de lavado de sal marina.

¿Cuáles son sus principales responsabilidades?

Dirigir, controlar y programar la operación del proceso de lavado de sal marina.

¿Cuán exitoso cree usted que es su trabajo?

Altamente exitoso en términos de resultados al lograr en un periodo de tres años una eficiencia ascendente de un 82% inicial a un 87% actual.

¿Qué problemas interfieren con el éxito del proceso?

Las principales a mencionar serían: la falta de compromiso humano acompañante, la descoordinación entre áreas y un requerimiento de mayor capacitación.

⁵ La información contenida en este anexo, sirvió de apoyo para el desarrollo del proyecto, ya que con base a ésta se recopiló gran parte de las necesidades y requisitos, mediante la aplicación de una entrevista a los usuarios que interactuaban de manera directa con la problemática planteada en la presente investigación, logrando así la escogencia de la solución más adecuada.

2. Evaluando el problema

¿Hay actualmente problemas que usted no pueda solucionar?

Obviamente, sí hay problemas.

Mencione alguno de los posibles problemas que se le han presentado alguna vez que no han podido solucionar o ha sido muy difícil solucionar

Cuando se salen de la competencia o el conocimiento profesional, ejemplo equipos eléctricos y electrónicos en el cual hay que recurrir a personas expertas y conocedoras de tales equipos.

¿Qué equipos fallan más?

Aquellos que el tipo de ambiente altamente salitroso están más expuestos, estamos hablando de la estructuras en hierro, los tableros eléctricos, todo que esté propenso al ambiente altamente salitroso.

¿Qué medidas toman para resolver esta problemática?

Esta problemática no conlleva a un compromiso en la aplicación de programas intensos de mantenimiento preventivo y en ocasiones correctivos.

¿Tiene alguna idea de cómo le gustaría que se resolvieran este tipo de problema?

Estos problemas dada su recurrencia, se resolverían de manera efectiva con la implantación de sistemas apropiados de mantenimiento particularmente con énfasis en los controles de la alta corrosión y sulfatación.

¿Qué problemas cree usted de los cuales se presentan en la planta que son susceptibles a mejorar o qué parte del proceso cree que se podría mejorar y cómo se podría mejorar?

Los problemas que son susceptibles a mejorar es mover una mayor concientización del material humano particularmente en el mayor conocimiento de la BPM (Buena Práctica de Manufactura), me parece que el material humano es fundamentalmente su capacitación y su capacitación para tenerlo con mayor compromiso y mayor identidad de su responsabilidad en su desempeño como integrante de la empresa.

¿En los equipos que maneja este proceso cuáles presentan un mayor consumo de energía? ¿Qué equipos gastan más energía?

Obviamente los motores trifásicos que trabajan con un voltaje de 440 y de manera particular aquellos que disponen de una mayor potencia. Podríamos considerar que estos equipos son los que consumen mayor volumen de la energía que suministra el proceso.

¿Hay equipos que trabajen a más capacidad de la necesaria?

No existe esa circunstancia dado que estamos esperando un proceso que subutilice inclusive la capacidad normal de los equipos existentes.

¿Qué tipo de actuadores usan y con qué señales se activan?

El tipo de actuadores en este caso serían los motores y bombas y las señales que están concentradas en los tableros que operan los circuitos eléctricos allí existentes en la secuencia lógica que determina su diseño.

3. Evaluando y entendiendo el ambiente del usuario

¿En qué parte del proceso se presenta más peligro para el operario?

Aquellas áreas donde eventualmente se presenten derrames de sal o de salmuera y que podrían hacer contacto con líneas eléctricas eficientemente aisladas. Cabría la posibilidad de un riesgo muy alto de poder electrocutarse una persona, en lo general disponemos de una planta altamente segura en términos industriales.

¿Qué se cree usted que se puede mejorar en las interfaces de usuario? (Borneras y tablero de control)

La planta existente dispone de los equipos y del sistema que lo opera con las capacidades que actualmente demanda, por lo tanto podríamos decir que en este momento podríamos estar conformes con su capacidad actual.

¿Describa cada parte del tablero de control, en qué momento se utiliza y como modifica el proceso?

Bueno la descripción de la parte del funcionamiento del control está ilustrada a través del plano diseñado específicamente del proceso e igualmente las innovaciones o complementos que se han registrado

hasta el momento, entonces viendo el plano podría técnicamente lo que la pregunta requiere.

¿Cómo controlan el proceso en caso de fallas, que señales de aviso manejan, en qué momento se encienden y métodos de contingencia?

Actualmente las fallas que se presentan son del no funcionamiento imprevisto de un equipo, ya sea por una obstrucción, ya sea por un mal estado de su acometida eléctrica ya sea por algún corto circuito, ya sea por una obstrucción en un ducto de conducción de salmuera, pero básicamente tratándose del no funcionamiento eventual de un equipo, pues se recurre a los tableros donde se accionarían los sistemas de interrupción de dichos motores o equipos comprometidos en la falla y le damos pronto control a este tipo de fallas.

¿Qué variables se manejan dentro del proceso (Tipos, rangos, valores deseados, tipos de sensores, cuales miden y cuáles desearían medir)?

El manejo del proceso tiene parámetros en términos de eficiencia del proceso, pero en términos del control del proceso los parámetros, los rangos o los sistemas automáticos de funcionamiento o buen funcionamiento de los equipos, lo propio que tienen cada uno de esos equipos, estar velando porque esos indicadores de funcionamiento estén apropiadamente de acuerdo a los rangos que señalan los manuales de buen funcionamiento. Entonces podemos hablar que esos serían los que funcionan de manera específica para cada equipo independiente de los parámetros operativos de proceso que es algo diferente.

¿Cómo manejan los procesos paralelos (Riego del terreno en época seca)?

Los procesos paralelos al proceso de lavado son aquellos que tienen que ver con el control de la contaminación del producto por efecto del depósito de polvo del ambiente del lugar. Como un medio de control de calidad del mismo, para eso desarrollamos programas de riego con salmuera de los sitios aledaños a dichos arrumes y con eso contrarrestamos cualquier compromiso de la contaminación del producto almacenado al aire libre también en lo que tiene que ver con el cuidado del medio ambiente del lugar pues el control sobre las torrentillas de las precipitaciones y del buen manejo de los residuos sólidos con la aplicación de manuales existentes para tales casos y hasta ahora hemos hecho un buen manejo de dichos procesos paralelos.

4. Resumen para validar el entendimiento del problema

Haga un breve resumen del funcionamiento del proceso, que fallas hay y como se podrían mejorar.

El proceso de lavado de sal marina NaCl, se compone de las siguientes etapas:

Sección de la materia prima a una tolva de alimentación donde se controla las impurezas acompañantes, donde se dosifica la cantidad de sal requerida por el proceso y se implementa un mecanismo hidráulico para iniciar el proceso de lavado, seguido a este sistema de recolección de la sal a procesar viene una etapa de escurrimiento y enjuague donde básicamente se expone el producto a una agitación violenta que permita

la remoción efectiva de las impurezas fisicoquímicas que contiene y por último la parte de centrifugación que se busca con ello retirar la salmuera acompañante para entregar al final un producto con mínima humedad en el sitio de almacenamiento a través de un apilador radial de manera especial. Entonces el resumen el proceso de lavado lo resumo en 4 etapas sencillas:

Recepción, inspección, y transporte de la sal alimentada al proceso.
Esgurrimiento y enjuague.

Centrifugación para retirarle la humedad de la salmuera.

Apilamiento o almacenamiento a través de mecanismos de apilamiento.

Es un proceso totalmente físico donde la disminución de las impurezas de entrada al producto hasta un nivel de final de acuerdo a las normas que regulan la calidad de este producto. Un tema físico, sencillo de fácil entendimiento y manejo.

¿Cómo cree usted que se podría mejorar este proceso, qué se le podría adicionar para ser más eficiente?

Para mejorar este proceso día a día tiene que ver con el control eficiente de las normas del proceso. Segundo tener un control eficiente del funcionamiento de los equipos, para que la separación, eliminación o disminución de las impurezas que determinan su calidad sea muy efectiva y tercero tener un control en lo que tiene que ver con el ambiente del lugar dado que son procesos al aire libre y tenemos que ser conscientes con todo el control de vertimientos, con todo el control

de emisiones y ser consecuentes con los principios que nos comprometen en el mantenimiento del medio ambiente, entonces podíamos trabajar y continuar trabajando en esos tres puntos, control de mermas, eficiente manejo del proceso para tener un producto de alta calidad y el control ambiental del proceso consecuente con los compromisos que tenemos en nuestro ambiente valga la redundancia que rodea la ubicación de la planta.

ANEXO C. CARGA DE LOS EQUIPOS

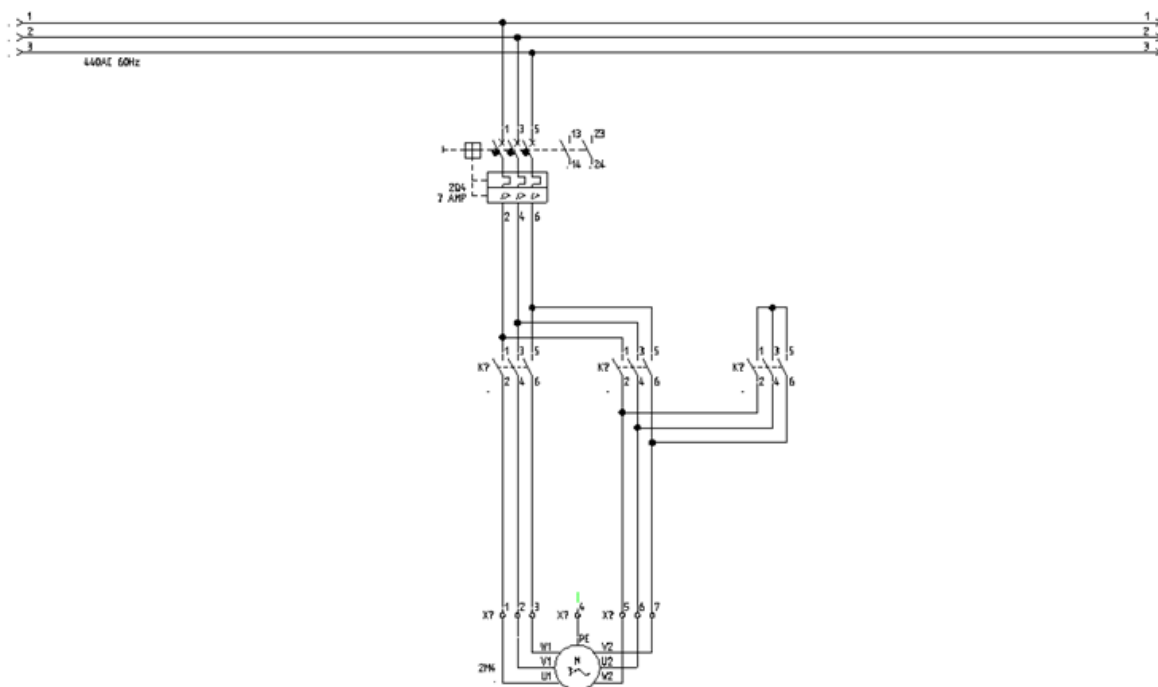
Tabla 11.1. Carga de los equipos

| Equipo | | Potencia | | Voltaje | Rango amperaje máximo | Amperaje | | | | | | Dispositivos de protección eléctricos | | | | | | Tipo de arranque |
|--------|----------------------------------|----------|-------|---------|-----------------------------|-----------------|------|------|-----------------|------|------|---------------------------------------|------|---------|-------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | | | | | | Operación vacío | | | Operación carga | | | Relé térmico | | | | | | |
| | | HP | KW | Voltios | | R | S | T | R | S | T | Rango | Tope | Breaker | Contactor | Temporizador | | |
| 1 | Bomba de aceite centrífuga | 0.5 | 0.37 | 440 | 1.10 | – | – | – | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 1.6 – 2.5 | 1.8 | C 16 | D 09 | | Directo | |
| 2 | Bomba de mezclado | 15 | 11.19 | 440 | 19.7 | 20.4 | 17.4 | 21.1 | 20 | 18 | 21.3 | 16 – 24 | 16 | 50 | D 18 D18D12 | LADT2 (0.1 – 30) | Estrella – Triángulo | |
| 3 | Bomba draga | 20 | 14.91 | 440 | 27 | – | – | – | 23.1 | 20.7 | 19.2 | 16 – 24 | 16 | 50 | D 25 D25 D 18 | LADT2 (0.1 – 30) | Estrella – Triángulo | |
| 4 | Motor vibrador centrífuga | 4 | 2.98 | 440 | 5.7 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 5.5 – 8 | 5.5 | C 16 | D 09 | | Directo | |
| 5 | Motor principal centrífuga | 30 | 22.37 | 440 | 37 | 13.7 | 14 | 14.5 | 19.2 | 16.8 | 20 | 16 – 24 | 16 | 100 | D 50 D 50 D 32 | LADT2 (0.1 – 30) | Estrella – Triángulo | |
| 6 | Bomba de enjuague | 15 | 11.19 | 440 | 18.6 | 14.8 | 15.9 | 17.3 | 15.1 | 16.2 | 17.5 | 16 – 24 | 12 | 50 | D 18 | LADT2 (0.1 – 30) | Estrella – Triángulo | |
| 7 | Bomba sumergible | 5 | 3.73 | 440 | 8.0 | – | – | – | 8.1 | 7.6 | 7.9 | 5.5 – 8 | 8 | 30 | D 18 | | Directo | |
| 8 | Transportadora N° 2 (stacker) | 5 | 3.73 | 440 | 7 | 5.4 | 5 | 6.9 | 5.9 | 5.7 | 7.4 | 5.5 – 8 | 7.8 | 30 | D 25 | | Directo | |
| 9 | Bomba de desagüe de salmuera | 5 | 3.73 | 440 | 5.6 | – | – | – | 4.8 | 5.7 | 4.4 | 5.5 – 8 | 6 | 15 | D 12 | | Directo | |

| Equipo | | Potencia | | Voltaje | Rango amperaje máximo | Amperaje | | | | | | Dispositivos de protección eléctricos | | | | | Tipo de arranque |
|--------|------------------------------|----------|------|---------|-----------------------------|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|---------------------------------------|-------|------|---------|-----------|---------------------|
| | | | | | | Operación vacío | | | Operación carga | | | Relé térmico | | | | | |
| | | HP | KW | | | Voltios | R | S | T | R | S | T | Rango | Tope | Breaker | Contactor | |
| 10 | Motorreductorfeeder | 4.02 | 3.00 | 440 | 5.9 | 1.5 | 0.8 | 1.3 | 1.5 | 0.8 | 1.3 | 5.5 – 8 | 5.5 | 15 | D 12 | | Directo |
| 11 | Transportadora N° 1 (tapete) | 5 | 3.73 | 440 | 7.9 | 3.2 | 3.9 | 4.1 | 3.8 | 4.1 | 5.2 | 5.5 – 8 | 5.7 | 20 | D 18 | | Directo |
| 12 | Bomba de desechos | | 0.00 | | | | | | | | | | | 30 | D 09 | | Directo |

ANEXO D. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO

Tabla 11.2. Arranque Estrella-Triángulo (circuito de potencia)

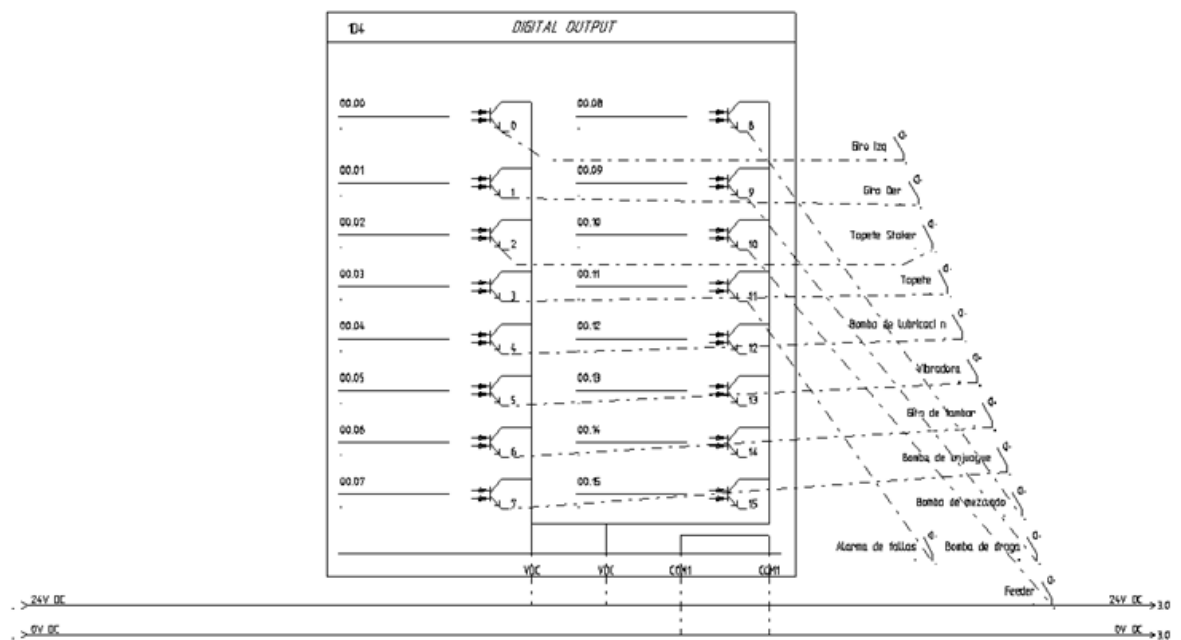


Actualmente en la empresa INDUSALCA Ltda. Los motores son arrancados por la configuración estrella-triángulo.

Para la cual se utiliza un transformador reductor de 13200V AC 60Hz a 440V AC 60Hz con la cual se alimentan los motores trifásicos como; La bomba draga, bomba de salmuera y otros motores que necesiten ser suplidos con este tipo de energía y de este se toman utiliza otra configuración con la cual se obtienen 220V AC con la cual se alimenta la parte administrativa, oficinas e iluminación dentro de la planta.

ANEXO E. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE SALIDA DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE

Figura 11.1. Conexiones de salida autómatas

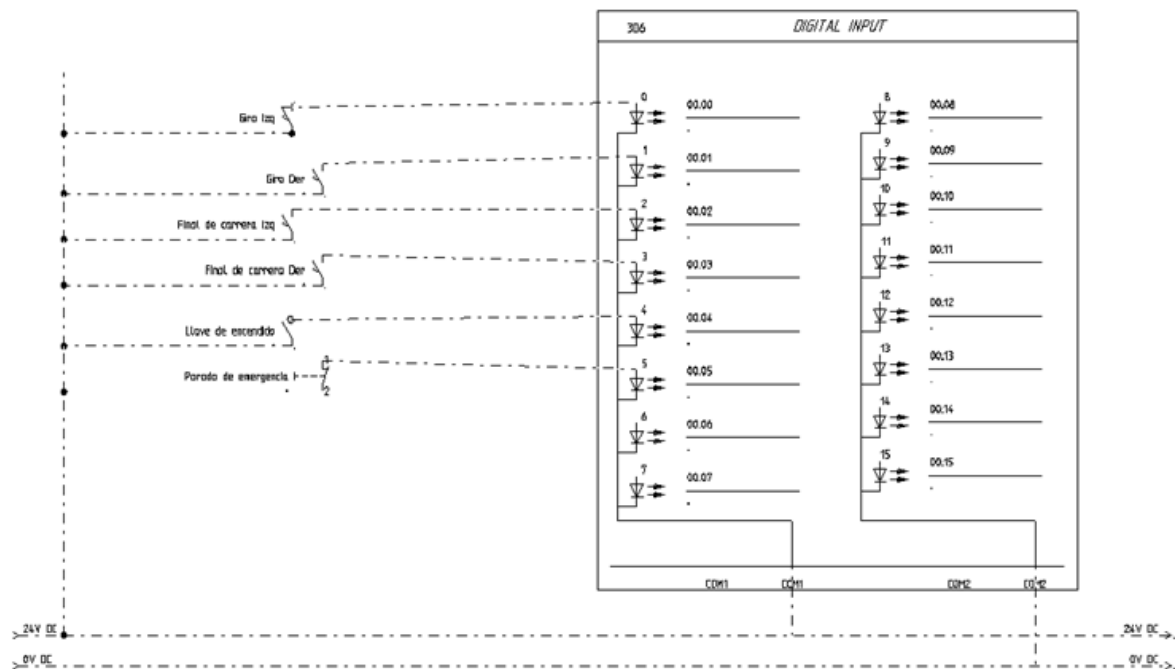


En este diagrama se representan como están distribuidas la salida en el autómata, y que gestionan la alimentación de los motores con el voltaje correspondiente.

Este plano no se llegó a implementar, pero plantea una posible solución de las conexiones del autómata con los diversos actuadores. Esto también aplica para la siguiente imagen.

ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADAS DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE

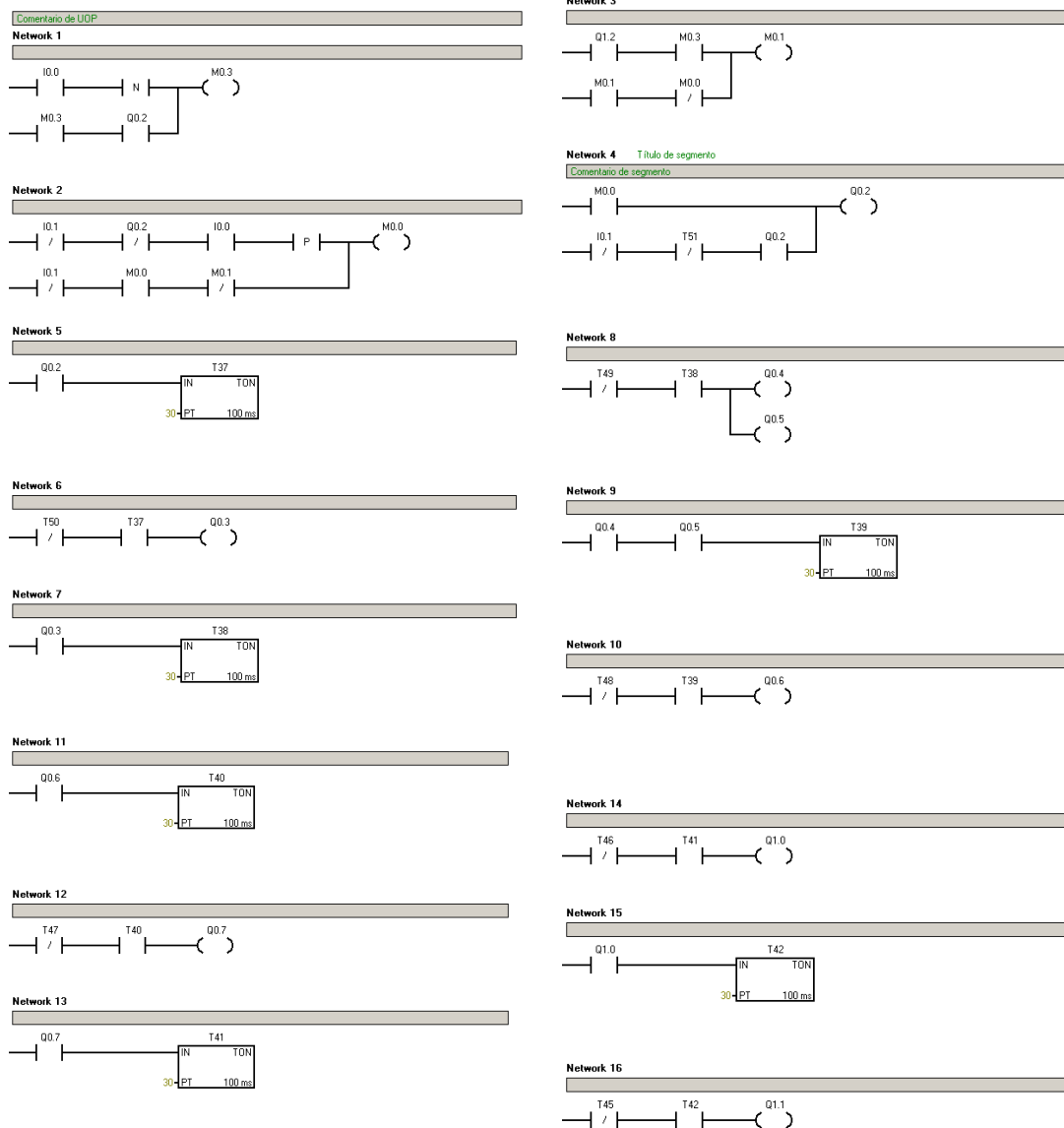
Figura 11.2. Diagrama de conexiones de entrada del autómata

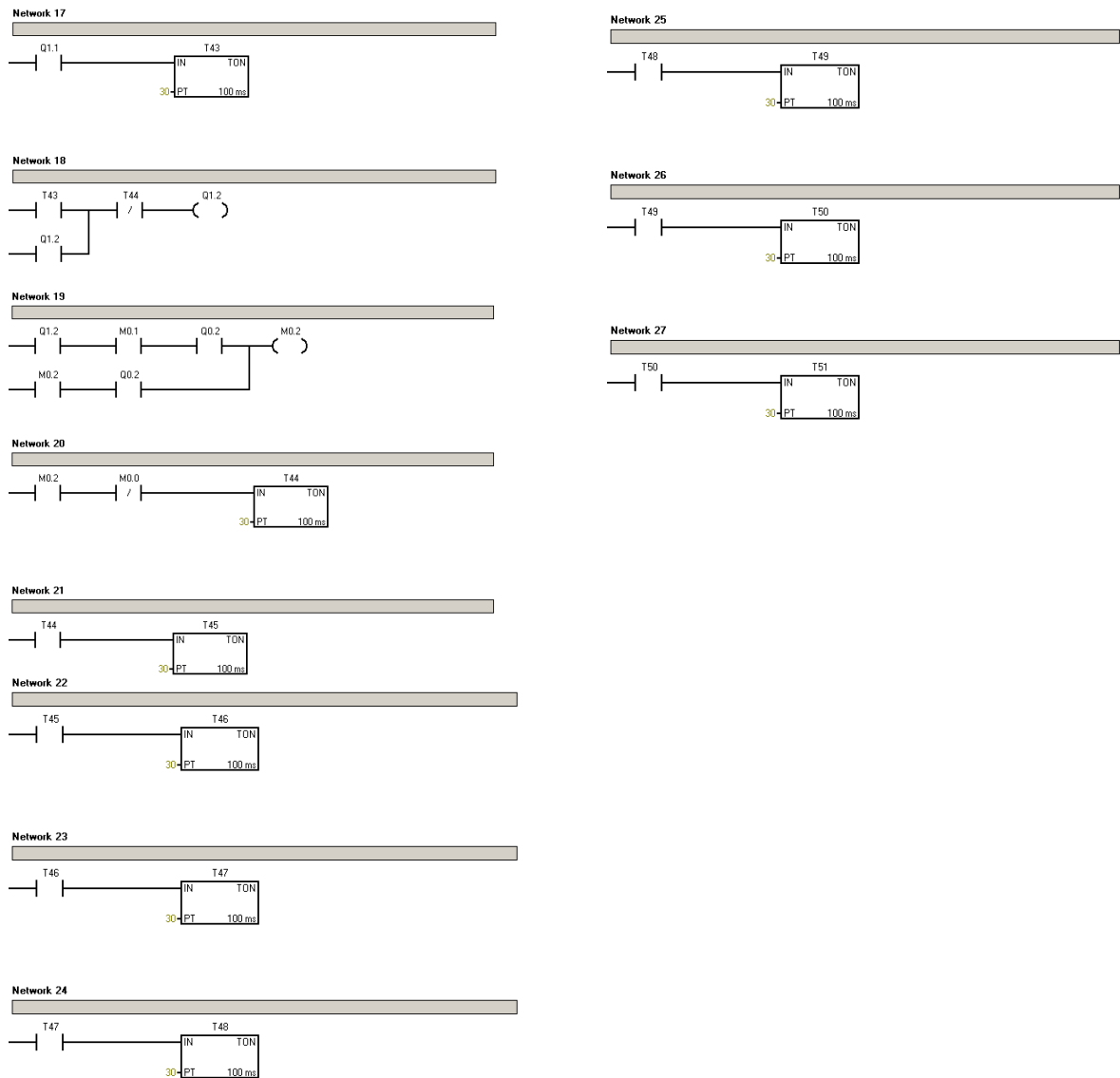


En el diagrama se representan las entradas que se tienen en cuenta para el control del proceso. Estas señales son procesadas por el autómata que se encarga de gestionar y activar las salidas de acuerdo a el programa anteriormente cargado.

ANEXO G. PROGRAMA PRINCIPAL PARA EL CONTROL DEL ARRANQUE LOS MOTORES

Figura 11.3. Programa principal del proceso de arranque de los motores





En esta figura, se muestran las captura de pantalla del programa que tiene como función principal el arranque LIFO de los motores que intervienen en el proceso de lavado de sal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Lenguaje Ladder - Wikipedia, la enciclopedia libre», 2010. [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_Ladder. [Accessed: 16-Nov-2010].
- [2] L. Fuentes Fernández y A. Vallecillo Moreno, «Una introducción a los perfiles UML», 168, 2004, pág. 13.
- [3] I. TAPIA TOVAR, «EL DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN, UNA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.»
- [4]. Economista del departamento de Estudios Económicos del Banco de la República.
- [5] M. AGUILERA DÍAZ, «Salinas de Manaure: Tradición wayuú y modernización», 35, May. 2003.
- [6] Ex-presidente del congreso de la República de Colombia.
- [7] A. ACOSTA MEDINA, «HACIA UNA GUAJIRA COMPETITIVA», www.amylkaracosta.net, Jul-2010. [Online]. Available: http://www.amylkaracosta.net/60/index.php?option=com_content&view=article&id=88:hacia-una-guajira-competitiva&catid=47:la-guajira&Itemid=134. [Accessed: 13-Nov-2010].
- [8] C. LEÓN PARRA, «Diseño de una máquina tipo tornillo para lavar sal», Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008.
- [9] H. LERMA GONZÁLEZ, *Metodología de la investigación. Propuesta, anteproyecto y proyecto*, Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones, 2009.
- [10] D. Rosenberg y M. Stephens, *Use Case Driven Object Modeling with UML Theory and Practice*, Apress, 2007.
- [11] R. SÁNCHEZ DAMS, *Controlador lógico programable, una mirada interna*, Barranquilla, Colombia: Editorial Universitaria de la costa - Educosta, 2009.

[12] «Automatización industrial - Wikipedia, la enciclopedia libre», <http://es.wikipedia.org/>. [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial. [Accessed: 24-Mar-2011].

[13] G. Booch, J. Rumbaugh, y I. Jacobson, El lenguaje unificado de modelado: Guía del usuario, 2nd ed. Pearson Addison-Wesley.

[14] G. BOOCH, J. RUMBAUGH, y I. JACOBSON, *El proceso unificado desarrollo software*, Pearson Addison-Wesley, 2000.